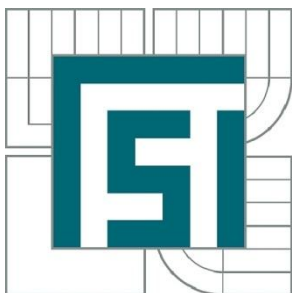




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

VARIABILNÍ VENTILOVÉ ROZVODY

VARIABLE VALVETRAIN SYSTEMS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MICHAL VĚŘÍŠ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. LUBOMÍR DRÁPAL

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Michal Věříš

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Stavba strojů a zařízení (2302R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Variabilní ventilové rozvody

v anglickém jazyce:

Variable Valvetrain Systems

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce rešeršně-konstrukčního charakteru, zaměřená na variabilní ventilové rozvody pístových spalovacích motorů.

Cíle bakalářské práce:

Uveďte vliv ventilového rozvodu, zejména rozvodových dat, na provozní parametry spalovacího motoru. Popište historii variabilních ventilových rozvodů a proveďte rešerši používaných konstrukcí. Uveďte nejnovější trendy a dále nastiňte blízkou budoucnost v této oblasti. Na základě konstrukčního řešení vybraného výrobce vytvořte jednoduchý 3D model variabilního ventilového systému jednoho válce.

Seznam odborné literatury:

- [1] MORAN, R. J. Variable Valvetrain System Technology. SAE International, First edition, 2006. ISBN 978-0-7680-1685-7.
- [2] HEISLER, H. Advanced Engine Technology. SAE International, First edition, 1995. ISBN 1-56091-734-2.
- [3] KOŽOUŠEK, J. Výpočet a konstrukce spalovacích motorů II. SNTL – Nakladatelství technické literatury, První vydání, Praha 1983, 488 s.
- [4] KOŠTÁL, J., SUK, B. Pístové spalovací motory. Nakladatelství Československé akademie věd, První vydání, Praha, 1963.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Lubomír Drápal

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 13.11.2012

L.S.

prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty



ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zaměřuje na variabilní ventilové rozvody a jejich vliv především na zážehové motory. Popisuje princip jejich funkce, vzájemné porovnání, stručnou historii a pohled na možný budoucí vývoj. Součástí práce je též simulace systému VTEC-E.

KLÍČOVÁ SLOVA

Variabilní ventilový rozvod, VTEC, spotřeba paliva, VANOS, VarioCam, VVC, VVR, VVT, Honda, VALVETRONIC, MultiAir

ABSTRACT

This bachelor thesis focuses on the variable valve actuation systems and their influence mainly on spark-ignition engines. Describes the principle of their function, comparison of each other, brief history and a view to future developments. Part of the work is also a simulation of VTEC-E.

KEYWORDS

Variable valve actuation system, VTEC, fuel consumption, VarioCam, VANOS, VVC, VVR, VVT, Honda, VALVETRONIC, MultiAir



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VĚŘÍŠ, M. *Variabilní ventilové rozvody*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 54 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Lubomír Drápal.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Lubomíra Drápala a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 22. května 2013

.....

Michal Věříš



PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat panu Ing. Lubomíru Drápalovi, za ochotu a cenné rady v průběhu psaní bakalářské práce. Rovněž si velmi vážím svých rodičů za podporu nejen při studiu. Díky směřují i těm, kteří v průběhu psaní této práce zasahovali do mého života a předali mi nezapomenutelné zkušenosti.



OBSAH

Úvod	9
1 Význam variabilních ventilových rozvodů.....	10
1.1 Základní dělení	10
1.2 Historie.....	11
2 Změna časování ventilů	13
2.1 Porsche VarioCam	14
2.1.1 VarioCAM Plus	15
2.2 BMW VANOS / Double-VANOS.....	17
2.3 Rover VVC	20
3 Změna časování a zdvihu ventilů – skokově	24
3.1 Honda VTEC	25
3.1.1 DOHC VTEC	25
3.1.2 SOHC VTEC	27
3.1.3 SOHC VTEC-E	27
3.1.4 3-Stage VTEC	28
3.2 Toyota VVT	30
3.2.1 VVT	30
3.2.2 VVT-i	30
3.2.3 Dual VVT-i.....	31
3.2.4 VVT-iE	31
3.2.5 VVTiL-i	31
3.3 Audi Valvelift	32
3.4 Mercedes Camtronic	33
4 Změna časování a zdvihu ventilů – plynule	35
4.1 BMW Valvetronic.....	35
4.2 Ricardo Phaselift.....	37
4.3 Toyota Valvematic.....	39
4.4 UniAir	41
5 Budoucí vývoj variabilních ventilových rozvodů	43
6 Variabilní ventilový rozvod VTEC-E	45
Závěr.....	48
Seznam použitých zkratk	54



ÚVOD

Navzdory mnoha dnešním tendenčním názorům, spalovací motor má i v současnosti velký potenciál ke zvyšování měrného výkonu, točivého momentu a celkové účinnosti, jakožto i ke snižování spotřeby paliva a škodlivých emisních látek. Vyžadujeme tedy maximální možnou přeměnu chemické energie paliva na mechanickou práci na klikovém hřídeli, při co možná nejnížší produkci emisí. Na tyto protichůdné požadavky existuje několik řešení. V současné době je velmi populární přeplňování nízko-objemových motorů, tzv. „downsizing“. Též přímé vstřikování s využitím spalování vrstvené směsi nabízí lepší regulaci zatížení motoru, než s dosud používanou škrticí klapkou, která vykazuje značné energetické ztráty. Další z potenciálních revolucí, která stále zůstává ve stádiu prototypu, nabízí variabilní kompresní poměr, zajištěn pomocí excentrické klikové hřídele a dalších kinematických členů, viz například motor MCE-5 VCRi. [64] Tato práce se zabývá další možností optimalizace, a to variabilními ventilovými rozvody (dále VVR).

U motorů vznětových byla integrace VVR spíše sporadická a práce se tímto tématem nezabývá. Ovšem díky technologickému pokroku a zpřísňujícím se emisním limitům tyto motory vyvíjeny jsou a budou. Příkladem je motor automobilky Mitsubishi 1.8 DI-D MIVEC, představen v roce 2010. [65]

Systémy VVR jsou seřazeny dle jejich možností upravovat pohyb ventilů, a také chronologicky v rámci každé sekce. V povoleném rozsahu práce není možné zmínit všechny současné systémy VVR, proto jsou vybrány pouze ty, které si drží jistá prvenství, či představují zajímavá řešení. Práce se nezabývá elektromagnetickými, elektrohydraulickými ani pneumatickými systémy, které jsou sice z konstrukčního hlediska zajímavé, ale nebyli nikdy nasazeny v sériové výrobě. Na závěr patří nastínění konceptů VVR do budoucna.



1 VÝZNAM VARIABILNÍCH VENTILOVÝCH ROZVODŮ

Variabilní rozvody zlepšují plnění válců téměř v celém spektru provozních otáček. U motorů s obvyklým ovládáním ventilů pomocí vačkového hřídele s jedním profilem (sací) vačky je plnění válců optimální pouze při určitých otáčkách. Pokud se ty dále zvýší, tak se sice dostáváme maximální výkon, ale točivý moment se pro zhoršené plnění válců snižuje. Směs paliva se vzduchem ve vysokých otáčkách potřebuje vyšší průtočný průřez (zdvih) okolo ventilů, případně delší čas otevření ventilů, aby bylo zajištěno dostatečné hmotnostní naplnění válce motoru čerstvou směsí. Stejně tak při nižších otáčkách nemá směs dostatečnou hybnost, a proto by byl vhodný například nižší průtočný průřez na jednom ze sacích ventilů, který by umožnil rozvíření a nahromadění bohaté směsi v okolí zapalovací svíčky a její spalování při vysokém směšovací poměru (chudá směs). To má za následek výraznou úsporu paliva. Přídavné řídicí a regulační funkce jsou nutné ke snížení emisí. Klíčové pro správné plnění válců jsou další následující aspekty. [2], [66]

1.1 ZÁKLADNÍ DĚLENÍ

Systémy VVR můžeme dělit podle několika způsobů, viz Obr 1.1:



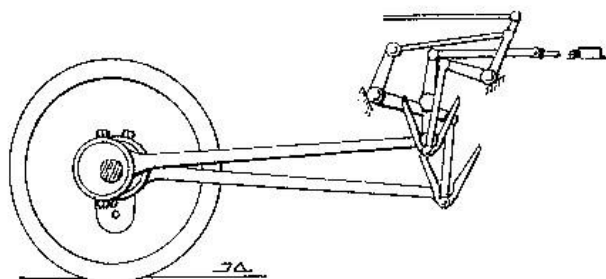
Obr. 1.1 Dělení VVR [vlastní]

Tato práce se zabývá rozdělením podle schopnosti měnit průběh zdvihu ventilů. Detailní princip funkce je rozeptán dále pod příslušným systémem. Při proměnném časování sacích ventilů se mění poloha vačkového hřídele sacích ventilů vůči vačkovému hřídeli výfukových ventilů, čímž dochází ke změně okamžiku otevření a zavření sacích ventilů a jejich překrytí v určitých oblastech otáček.



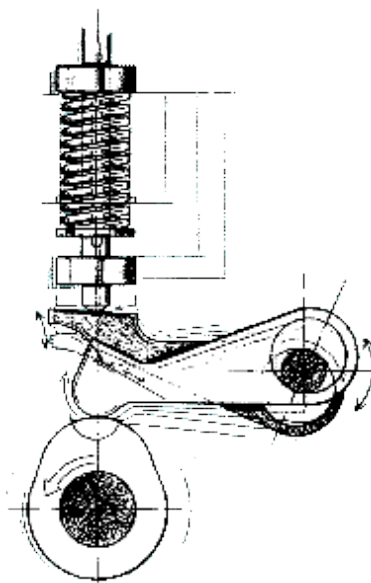
1.2 HISTORIE

První mechanismy vykazující prvky VVR nalezneme v 19. století ve zlaté éře páry, kde výstředníkový kulisový rozvod Stephenson umožňoval ovládání režimů plnění válců párou. [5]



Obr. 1.2.1 Výstředníkový kulisový rozvod Stephenson [6]

Pokud se přesuneme do oblasti spalovacích motorů, pak pokusy nastaly počátkem 20. století. Za první se dá považovat systém s excentricky uloženou jednoramennou rozvodovou pákou Louise Renaulta z roku 1902. O rok později, Mercedes-Benz v modelu Simplex 60hp o objemu 9,2 l umožňuje řidiči měnit zdvih ventilů pomocí ovládací páky. [7]

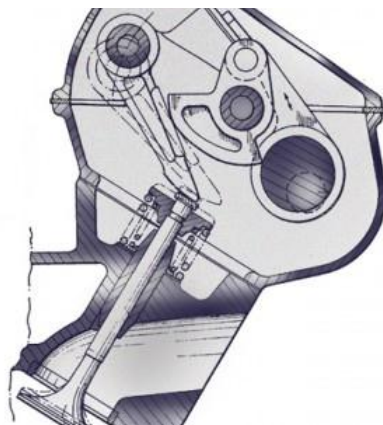


Obr. 1.2.2 Rozvodový systém Louise Renaulta [8]

V leteckém průmyslu byl zajímavostí projekt Lycoming XR-7755, největší letecký pístový motor své doby o výkonu 3729 kW, vyvíjený od roku 1943 pro spojenecké strategické bombardéry. Vačková hřídel měla dva profily vaček, jeden pro vzletnutí, druhý pro ekonomický let. Pilot mezi nimi mohl přepínat axiálním posuvem vačkového hřídele. V roce 1946 byl projekt ukončen pouze s dvěma prototypy, protože motor vykazoval vážné provozní potíže a nemohl být porovnáván s rostoucím potenciálem proudových motorů. [10]



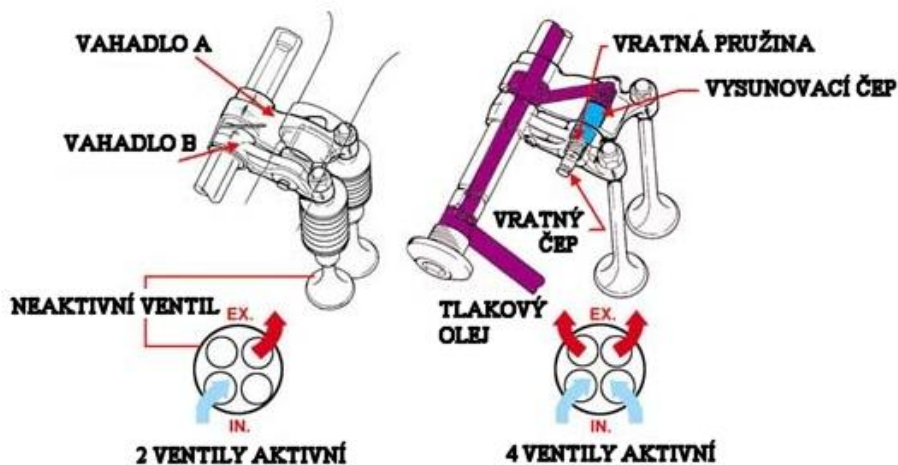
S prvním patentovaným systémem VVR přišel Giovanni Torazza na počátku sedmdesátých let, který umožňoval jak změnu časování ventilů, tak i jejich zdvih. Systém využíval hydraulický tlak oleje ke změně polohy čepu rozvodové páky. Hydraulický tlak se měnil v závislosti na otáčkách a zatížení pro dosažení optimálního zdvihu, jež se mohl měnit o 37 %. [15]



Obr. 1.2.3 Koncept Torazza – Fiat [14]

Na téže principu automobilka Alfa Romeo v roce 1980 zavedla sériovou výrobu prvních vozů s VVR, určených pro trh USA. Vývoj si v 70. letech zadala přímo Alfa a stál za ním Ing. Giampaolo Garcea, který si nechal konstrukci patentovat. [16] Použit byl ve voze Alfa Romeo Spider 2,0 L. Po modernizaci vstřikování v roce 1983 v modelu Alfetta 2,0 Quadrifoglio Oro byl modernizován i VVR, principem funkce podobný Porsche VarioCAM (viz níže). [9]

Dalším milníkem v historii byl bezesporu japonský systém VTEC (Variable Valve Timing and Lift Electronic Control), vyvinut původně z REV (Revolution-modulated valve control), známý také jako HYPER VTEC. Představen byl roku 1983 v motocyklu Honda CBR400. Principem funkce bylo vyřazení vždy jednoho sacího a výfukového ventilu na válec v nižších otáčkách, za účelem rozvíření a spalování chudé směsi. Ve vyšších otáčkách, hydraulickým olejem poháněný čep připojil vahadlo do té doby odpojených ventilů, což optimalizovalo charakteristiku motoru ve vyšších otáčkách. V nízkých otáčkách motor pracoval ekonomicky, ve vyšších naopak dodával potřebný točivý moment.

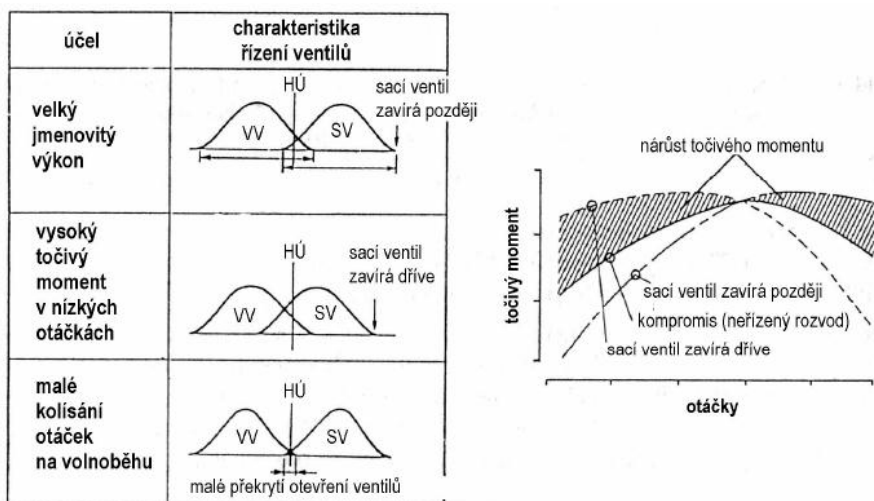


Obr. 1.2.4 REV – Honda CBR400 [12]

2 ZMĚNA ČASOVÁNÍ VENTILŮ

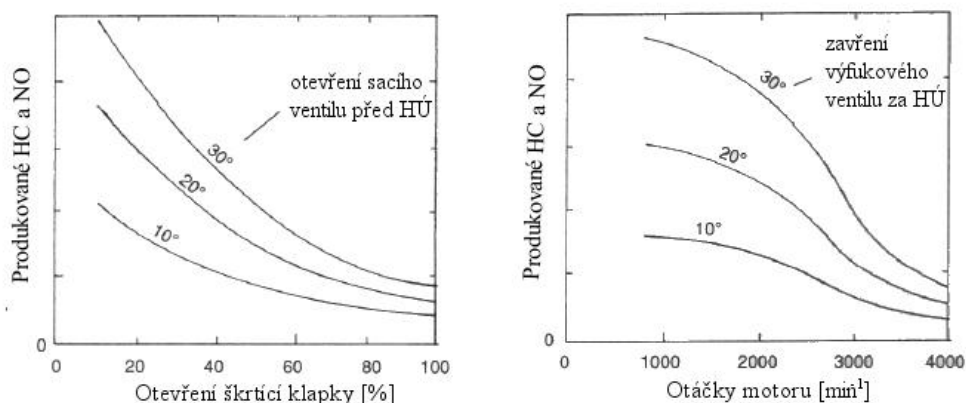
Tímto pojmem se rozumí provedení ventilového rozvodu, které umožňuje měnit počátek zdvihu ventilů (případně doba otevření ventilů – viz Rover VVC). Toho se využívá nejčastěji při pozdním uzavírání sacího ventilu, nebo v případě překrytí uzavírání výfukového ventilu a otevírání sacího ventilu. Zdvih ventilů zůstává neměnný.

Vliv pozdějšího uzavírání sacích ventilů znamená, že k nasátí co největšího množství směsi je vhodné, aby byl sací ventil otevřen již na počátku vzniku nižšího tlaku ve válci, než v sacím potrubí, čímž dojde k nasávání směsi ze sacího potrubí do válce. Stejně tak je důležité, aby k uzavření sacího ventilu došlo ideálně právě ve chvíli, kdy je rychlost nasávané směsi nulová. Pokud by se zavřel později, tak vlivem pohybu pístu směrem k horní úvratí by se nasátá směs vracela zpět do sacího potrubí, což je u většiny zážehových motorů nežádoucí. Výjimku tvoří Millerův cyklus, kde je zpětné nasávání směsi řízeno. Tyto okamžiky otevření a zavření ventilů se mění s otáčkami motoru a jeho zatížením. Ve vysokých otáčkách je směs schopná díky své vysoké kinetické energii a setrvačným účinkům plnit válec ještě v době, kdy píst směřuje k horní úvratí. Tento efekt roste se zvyšujícími se otáčkami. Ovšem při nižším zatížení a menším hmotnostním toku se tento efekt projevuje podstatně méně. [2], [66]



Obr. 2.1 Vliv vzájemné polohy sací a výfukové vačky [50]

Překrytím (stříhem) ventilů se rozumí, že dříve, než dojde k zavření výfukového ventilu, se začne otevírat ventil sací. Tento okamžik je při vyšších otáčkách a zatížení využíván k tomu, aby vysokou rychlostí unikající výfukové plyny vytvářely ejektorový efekt, který podporuje nasávání čerstvé směsi do válce, což napomáhá vypláchnutí. Optimalizace překrytí ventilů závisí na požadovaném jízdním režimu (žádné či malé překrytí při volnoběhu a vysokých otáčkách a zatížení, velké překrytí při středních otáčkách a zatížení). Ovšem při nízkých otáčkách a zatížení je nepřipustné velké překrytí, neboť díky velkému podtlaku v sacím potrubí by docházelo k nasávání výfukových plynů a následnému ředění směsi paliva se vzduchem. Poté může nastat problém s prohoříváním směsi, v nejhorším případě pak jejím nezapařením, což má za následek zvýšení škodlivých emisí (oxid uhelnatý a aromatické uhlovodíky). Je třeba si uvědomit, že na volnoběžném režimu dochází k velmi rychlému poklesu teploty povrchu katalyzátoru pod mez, kdy oxidace CO a HC je dostatečně účinná. Nutno dodat, že při středních a vyšších otáčkách a částečném zatížení se toto řešení používá ke snížení oxidů dusíku ve spalínách. Bývá označováno jako vnitřní recirkulace výfukových plynů. [2], [66]

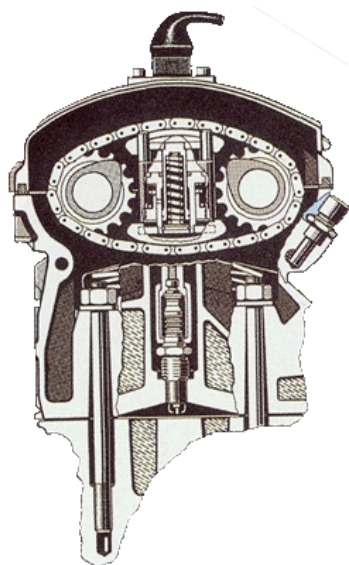


Obr. 2.2 Produkce škodlivých emisí [2]

Je zřejmé, že klasické rozvodové mechanismy s pevně nastaveným časováním ventilového rozvodu optimálně pracují pouze v určitém, úzkém, rozmezí otáček a zatížení. Při jiných provozních podmínkách se potom více či méně zhoršuje naplnění válce čerstvou směsí a v konečném důsledku snižuje točivý moment motoru a zvyšuje množství škodlivých emisí ve výfukových plynech. Praktickou ukázkou dosud zmíněného můžou být vyšší volnoběžné otáčky u sportovních automobilů, neboť jsou optimálně nastavené pro vysoké otáčky.

2.1 PORSCHE VARIOCAM

VarioCam je jedno z mnoha technických řešení, umožňující změnu časování ventilů. Poprvé byl představen v roce 1992 ve čtyřválcovém řadovém motoru o objemu 3,0 l (944S2) v modelu Porsche 968, kde byl primárně určen ke zvýšení točivého momentu a výkonu. Pozitivním vedlejším efektem bylo snížení výfukových emisí. [66]



Obr.2.1.1 Řez systémem VarioCam v Porsche 968 [18]

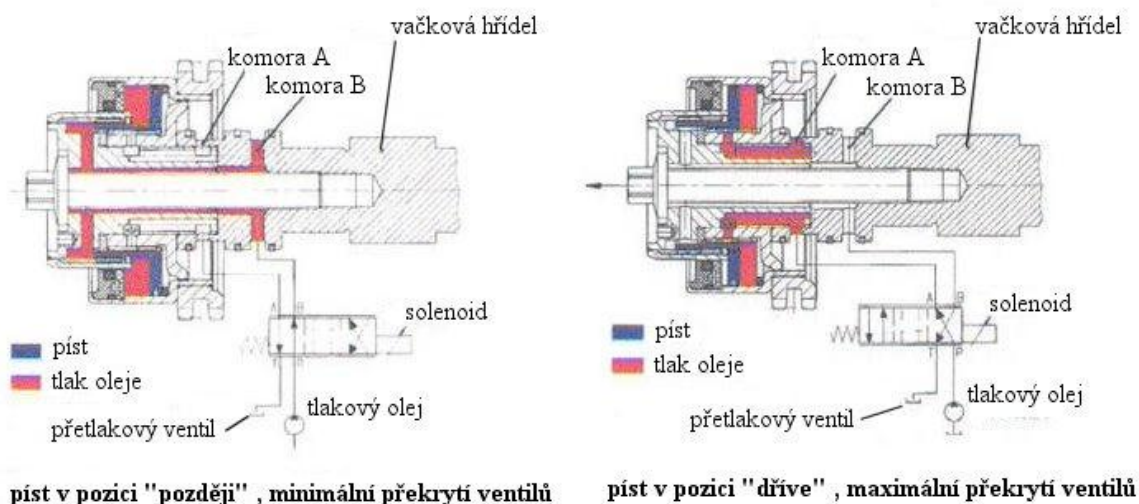
Stejný princip byl použit například ve vozech koncernu VW, kde jej používal i dvacetiventilový motor 1,8 l ve Škodě Octavia I. [67], [66]

Pohon od klikového hřídele obstarává řetěz (ozubený řemen) a poháněn je vačkový hřídel výfukových ventilů. Vačkový hřídel sacích ventilů je s ním spřažen řetězem, jehož napínák je vybaven dvoustavovým hydraulickým nastavováním. Tento napínák je ovládán šoupátkem, pohybujícím se v hydraulickém válci. Hydraulickým nastavováním polohy napínáku řetězu se pak natáčí vačkový hřídel sací vůči výfukovému. Přitom je ovládacím vedením přiváděn do napínáku olej z mazací soustavy motoru, jehož tlak ovládá nastavovací šoupátko v hydraulickém válci a řídí jej řídicí jednotka motoru skrz elektromagnetický ventil. [66]

Změna časování je dvoustupňová. Fáze natočení vačkového hřídele sacích ventilů Porsche 968 se odehrává v rozmezí 15° natočení klikového hřídele (25° pro Porsche Boxster). Při volnoběžných a vysokých otáčkách je napínák v dolní (základní) poloze, kde zvyšuje výkon. Při nižších a středních otáčkách ($1500 - 5500 \text{ min}^{-1}$) se posune do horní polohy, prodlouží se délka řetězu mezi vačkovými hřídeli nad rovinou jejich os a zkrátí se délka řetězu mezi vačkovými hřídeli pod rovinou jejich os. To způsobí při daném směru otáčení natočení sacího vačkového hřídele po směru otáčení (výfukový si polohu zachovává) a tedy k dřívějšímu otevření sacích ventilů. To vede k mírnému překrytí doby otevření ventilů. [68], [69]

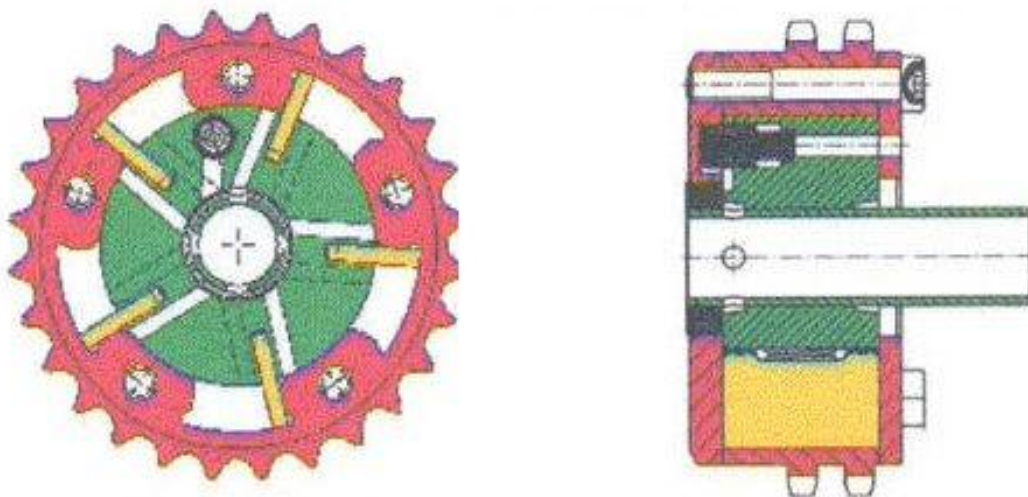
2.1.1 VARIOCAM PLUS

Je modifikovaný systém VarioCam, uvedený v roce 2001 v modelu Porsche 996 Turbo. Dvoustupňová změna časování je zde realizována nikoli výsuvným napínákem, ale dvoustavovým otočným hydromotorem (též fázový měnič). Ten umožňuje fázové natočení vačkového hřídele sacích ventilů o 30° natočení klikového hřídele (tzn. 15° natočení vačkového hřídele). V případě, že jsou splněny vstupní podmínky (zahřátý motor, otáčky alespoň 1480 min^{-1}), elektromagnetický přepouštěcí ventil (solenoid) vpustí do komory A tlakový olej, který vytlačí píst s vnějším šikmým drážkováním. Společně s vnitřním šikmým drážkováním v pouzdře hydromotoru, které je spojeno s rozvodovým kolem, dochází k natočení vačkového hřídele vůči rozvodovému kolu, což má za následek dřívější otevření sacích ventilů a tím i jejich překrytí. Tento režim je aktivní ve středních otáčkách. Při volnoběžném režimu, nebo při otáčkách nad 5950 min^{-1} , solenoid přesměruje tok tlakového oleje a zatlačí píst zpět. [19], [69]



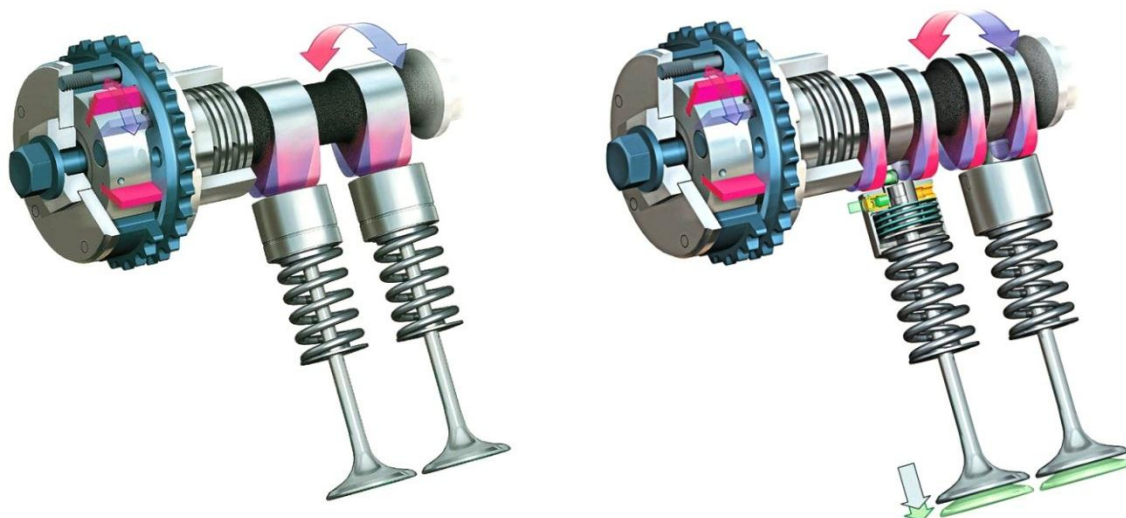
Obr.2.1.2 Funkce dvoustavového hydromotoru systému VarioCam v Porsche 996 Turbo [69]

V roce 2002 v modelu 911 Carrera (996) byla verze VarioCam Plus zdokonalena o plynulou změnu časování oproti dvoustupňové. Toho je dosaženo neustálou regulací solenoidu ve 3 polohách (píst v pozici dříve, píst v pozici později a udržování stavu) a použití lopatkového fázového měniče. [69]

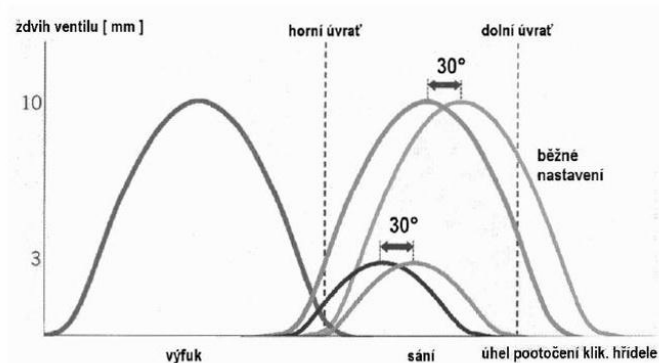


Obr.2.1.3 Lopatkový fázový měnič VarioCam Plus zepředu a v řezu [69]

Zásadní vylepšení oproti systému VarioCam před rokem 2001 je možnost změny zdvihu sacích ventilů. To zajišťuje dělená vačka a hydraulicky ovládané dělené zdvihátko. V nižších otáčkách motoru a jeho malém zatížení jsou ventily otevírány střední vačkou se zdvihem pouze 3mm, při vyšších otáčkách a zatížení motoru jsou použity vačky se zdvihem 10 mm. Přepnutí z „mírných“ vaček na „ostré“ okamžitě způsobí víc než dvojnásobný nárůst točivého momentu, proto musí zasáhnout řídicí jednotka a upravit polohu škrticí klapky a míru recirkulace výfukových plynů, aby tento přechod byl plynulý. [68], [22]



Obr.2.1.4 Srovnání systémů VarioCam a VarioCam Plus [19]



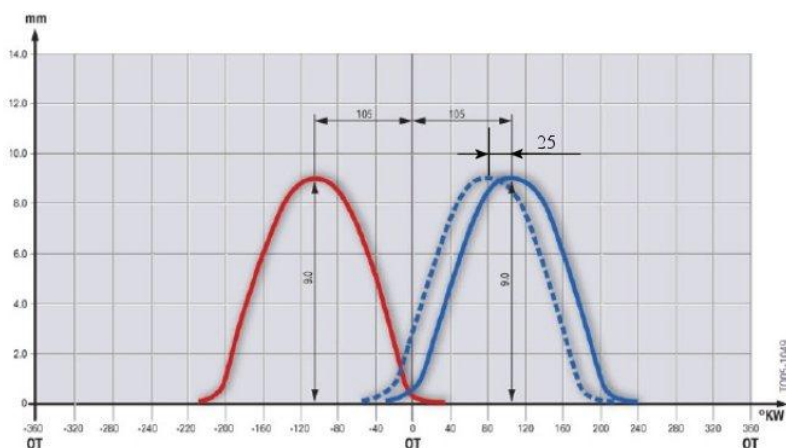
Obr.2.1.5 VarioCam plus, diagram počátku otevření a zdvihu ventilů [20]

Při dlouhém zdvihu jsou obě zdvihátka spojena jisticím kolíkem ovládaným proti vratné pružině tlakem oleje dávkovaným elektromagnetickým ventilem. V druhém případě na ventil účinně působí jen prostřední zdvihátko ovládané vačkou s krátkým zdvihem, vnější zdvihátko se pohybuje naprázdno. [19]

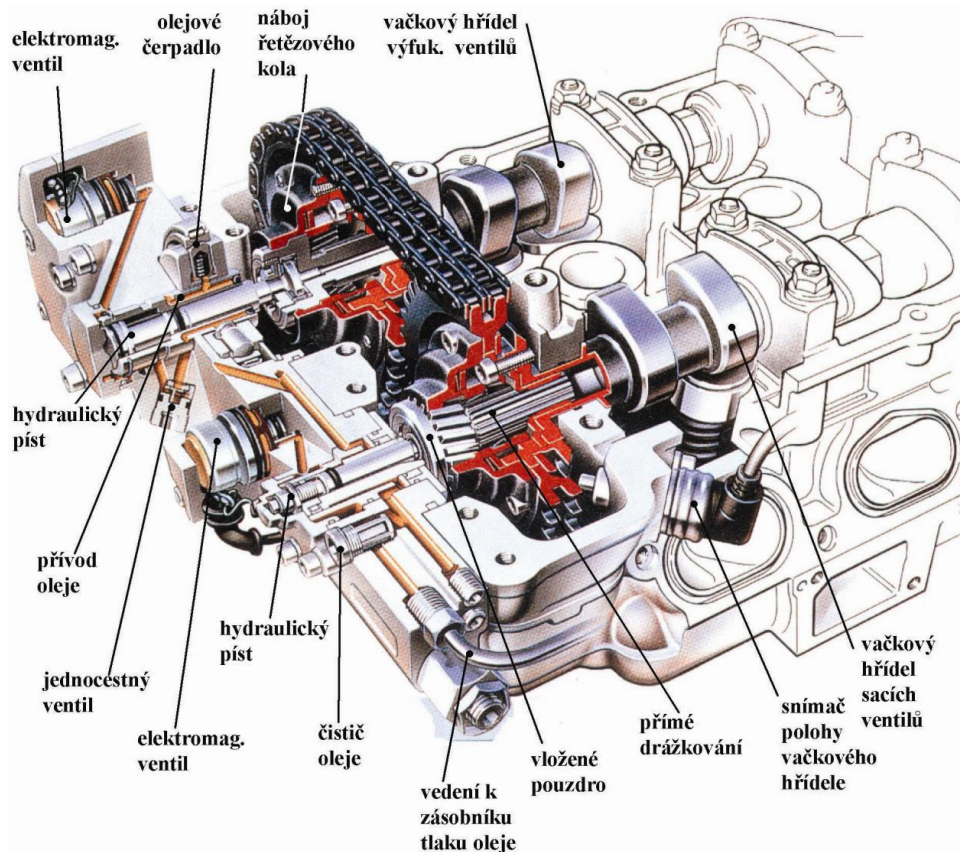
2.2 BMW VANOS / DOUBLE-VANOS

Zkratka VANOS vznikla z německého VARIable NOckenwellenSteuerung (variabilní řízení vačkového hřídele). Systém představený v roce 1992 z počátku umožňoval pouze dvoustavovou změnu časování (podobně jako první VarioCam), poté byl mnohokrát zdokonalován modifikacemi fázového měniče, který umožňoval plynulou změnu. Původně VANOS ovládal pouze vačkový hřídel sacích ventilů, v roce 1997 vešlo do produkce vylepšení rozvodového mechanismu – Double VANOS, který navíc ovládal i vačkový hřídel výfukových ventilů. Ačkoli je VANOS schopen operovat samostatně, od zavedení systému Valvetronic (níže) bývají motory BMW osazovány oběma systémy. [2]

První systém VANOS na základě údajů o otáčkách motoru a poloze plynového pedálu natáčel ve dvou možných stupních vačkový hřídel sacích ventilů, čímž posouval časování až o 25° natočení vačkového hřídele (50° vůči klikovému hřídeli). Zařízení bylo představeno roku 1992 v motoru M50TUB25 o objemu 2494 ccm, který podával výkon 141 kW při 5900 min⁻¹ a 245 Nm při 4200 min⁻¹. [66]



Obr.2.2.1 Diagram zdvihu ventilů v motoru M50TUB25 [71]

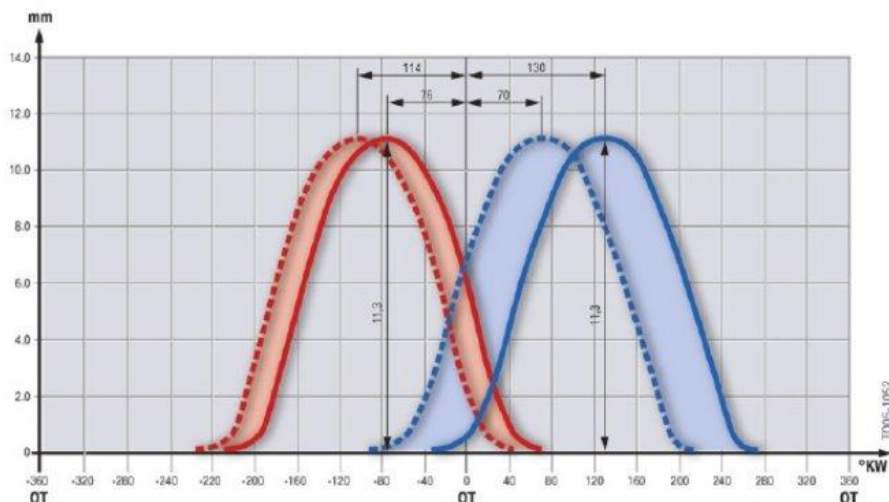


Obr.2.2.2 Double-VANOS částečný řez [23]

Princip funkce: Motorový olej je přiváděn z hlavního mazacího kanálu vačkového hřídele do vývrtu v hlavním tělese systému VANOS, odkud je dále veden do rotoru vysokotlakého objemového čerpadla. Toto je vybaveno čtyřmi, v rotoru čerpadla radiálně uloženými, plunžrovými písty, jež jsou odtlačovány vinutými pružinami proti vnitřnímu kroužku excentricky uloženého jehlového valivého ložiska. Excentricita rotoru a kroužku ložiska způsobuje, že olej je pod písty nasáván při pohybu od osy a stlačován při pohybu k ose. Vysokotlaký olej je veden z rotoru čerpadla do hlavního tělesa jednocestným ventilem, který zabraňuje odtoku oleje při zastavení motoru. Při spouštění je pak dodávka tlakového oleje zajištěna jednak elektromagnetem, a také zásobníkem tlaku. Systémový tlak je udržován přetlakovým ventilem, který vede přebytek oleje zpět do hlavy válců. Dva elektromagnetické třicestné ventily řídí průtok oleje a umožňují nastavení a udržení polohy vloženého pouzdra prostřednictvím hydraulických pístů. Vložené pouzdro, se dvěma druhy drážkování, umožňuje ovládání náboje řetězového kola a vačkového hřídele. Jeho vnější šroubové drážky zapadají do vnitřních drážek náboje řetězového kola a přímé drážky do vnějších drážek vačkového hřídele. Relativní natočení řetězového kola vůči vačkovému hřídeli je realizováno hydraulickým pístem posouváním vloženého pouzdra, přičemž je zřejmé, že při axiálním pohybu vloženého pouzdra se toto posouvá po přímých drážkách ve vačkovém hřídeli a natáčí ve šroubových drážkách vůči náboji řetězového kola. Čili velikost posunu vloženého pouzdra určuje fázové natočení vačkového hřídele vůči hřídeli klikovému. K fázovému posunu dochází u obou vačkových hřídelí, jejichž poloha je snímána senzory polohy vačkových hřídelí, umístěných na uložení vačkového hřídele. [2], [66]

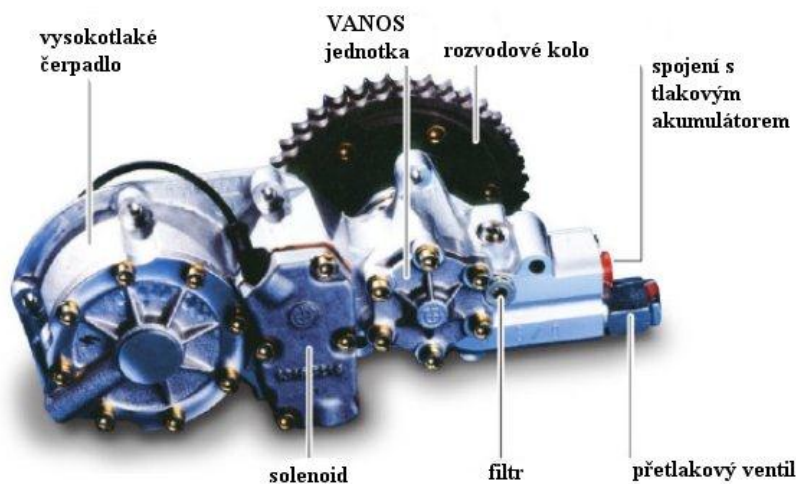


Pro zajímavost uvádím parametry prvního sériového motoru s Double-VANOS S50B32 o zdvihovém objemu 3201 ccm, výkonu 236 kW při 7400 min^{-1} a točivém momentu 350 Nm při 3250 min^{-1} . Připomeňme, že se jedná o rok 1997. [21]



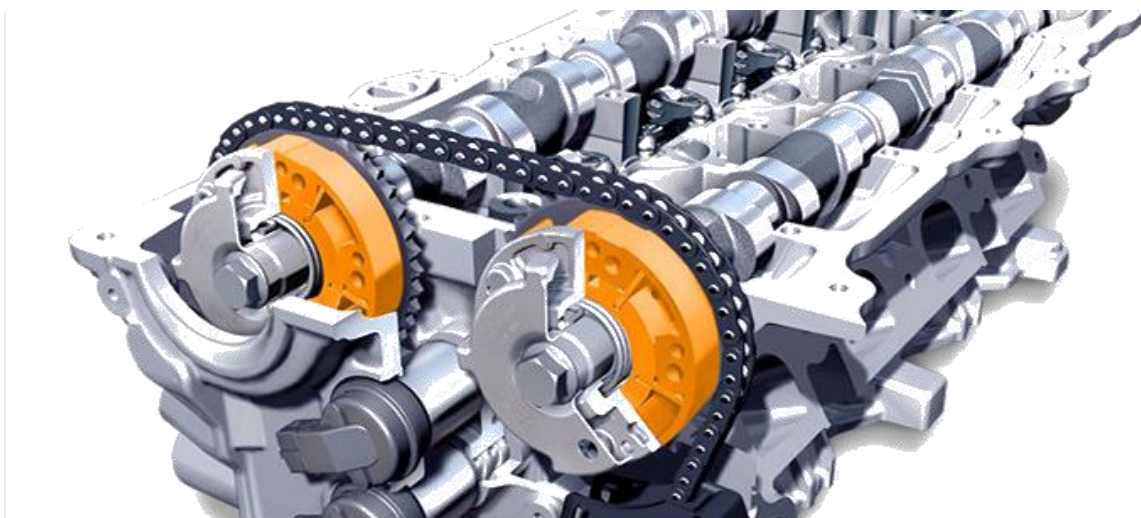
Obr.2.2.3 Double-VANOS motoru S50B32 – rozsah změny počátku otevření ventilů [71]

Téměř každá série motorů měla vlastní VANOS, případně Double-VANOS, který se lišil především umístěním komponent a rozsahem natočení váčkového hřídele. Princip funkce byl vesměs totožný. Pro rychlejší změnu natočení bylo poprvé v motoru S50B30 zavedeno vysokotlaké čerpadlo. Standartní VANOS umožňoval rychlost změny 200° natočení klikového hřídele za sekundu, při použití vysokotlakého čerpadla rychlost vzroste na 1000° natočení klikového hřídele za sekundu, navíc při teplotách oleje $20^\circ\text{C} - 80^\circ\text{C}$. [66]



Obr.2.2.4 VANOS motoru S50B30 s vysokotlakým čerpadlem [71]

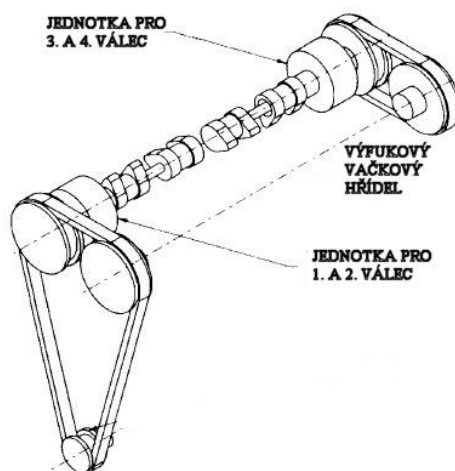
V případě systému Double-VANOS, kdy je zařazeno ještě proměnné časování výfukových ventilů je možno dále zlepšit rozsah nastavení pro preciznější korekci časování ventilů. Lze tak například při volnoběžných otáčkách dosáhnout malého překrytí ventilů a současně uzavřít sací ventil dříve za dolní úvratí, aby nedocházelo ke ztrátám již nasáté směsi zpět do sacího kanálu a potrubí. [66]



Obr.2.2.5 Systém Double-VANOS s fázovým měničem pro plynulou změnu [22]

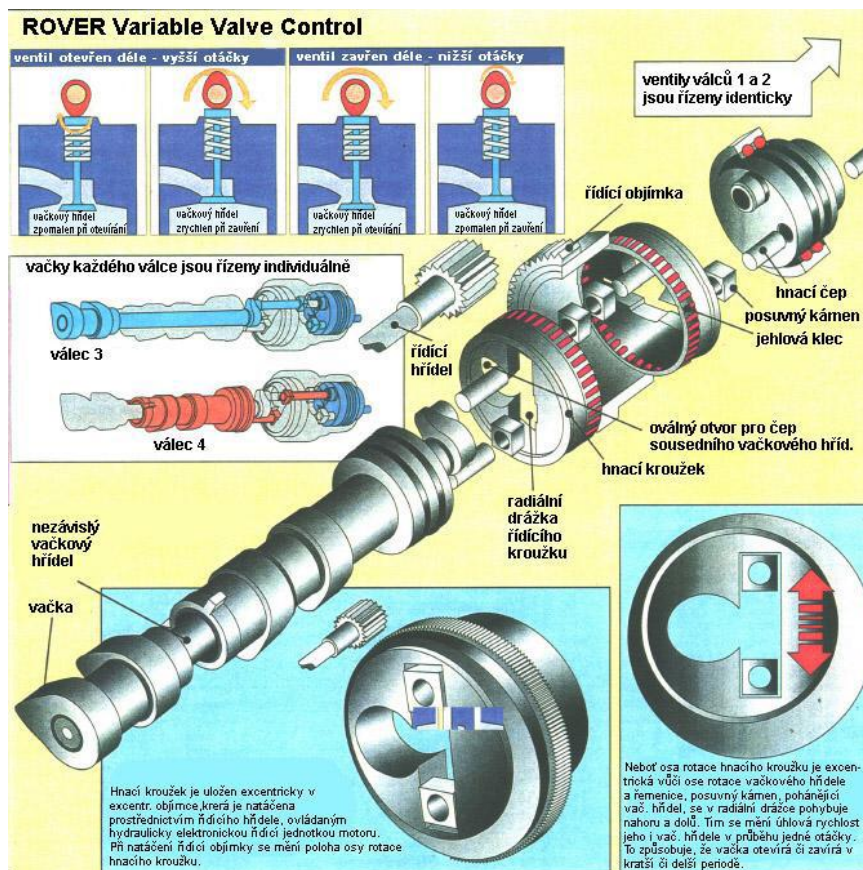
2.3 ROVER VVC

Základní koncept byl vyvinut a patentován britskou firmou AE limited v roce 1973. Nikdo o něj nejevil zájem, a proto byl zapomenut až do roku 1989, kdy byl znovu „objeven“ firmou Rover. V roce 1993 vyvinula první motor se systémem VVC o objemu 1400 ccm. Princip VVC (Variable Valve Control) je založen na excentricky rotujících ozubených objímkách, které jsou poháněny dvěma vnitřními kroužky ovládajícími rychlost otáčení dvou válců. [31]



Obr.2.3.1 Rover VVC – uspořádání hlavních komponent[27]

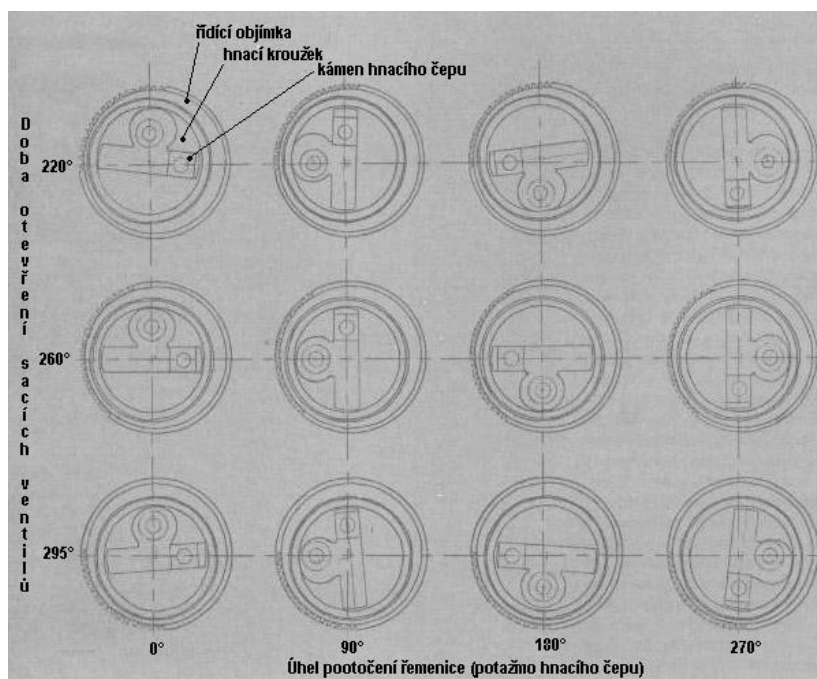
Vzhledem k excentricitě objímek je obvodová rychlost proměnná, což znamená možnost změny délky otevření ventilů, včetně změny počátku otevření a uzavření ventilů. Tento systém znemožňuje použití standartního vačkového hřídele sacích ventilů s jednou výstřednou objímkou, protože zatímco by se na jednom válci po otevření sacích ventilů obvodová rychlost snížila a po uzavření zase zvýšila, u jiného válce by tomu mohlo být přesně naopak, což by ve výsledku bylo poněkud kontraproduktivní. Proto každý válec musí být řízen samostatně za pomoci dutého vačkového hřídele. [66]



Obr.2.3.2 Systém Rover VVC [28]

Motory Rover série K fungují následovně:

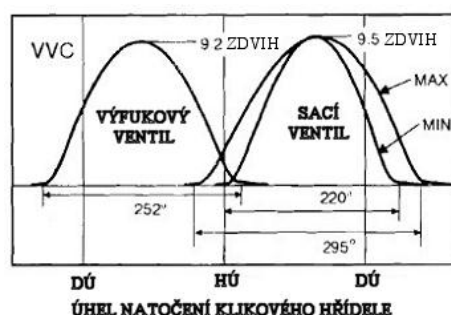
- ventilový hřídel výfukových ventilů je ovládán standardně řemenem od klikového hřídele
- 1. ventilový hřídel sacích ventilů je ovládán řemenem od klikového hřídele přes hnací čep a posuvný kámen až po hnací kroužky, které jsou uloženy ve výstředné objímce pro 1. a 2. válec
- shodné ovládání má 2. ventilový hřídel na zadním konci hlavy pro 3. a 4. válec
- posuvný kámen se jednak otáčí na čepu a dále posouvá v radiální drážce řídicího kroužku, čímž kompenzuje excentrické uložení hnacího kroužku na jehlových ložiskách v excentrickém otvoru objímky
- na opačné straně radiální drážky se pohybuje druhý (letmo otočně uložený na čepu) posuvný kámen, který přes rameno pohání vačkovou hřídel
- ve výstředné objímce jsou umístěny dva hnací kroužky, jejichž radiální drážky svírají mezi sebou úhel 90°, což mimo jiné znamená, že každý z nich musí být opatřen oválným otvorem pro čep pohonu sousedního válce
- v jednotlivých řádcích obrázku 2.3.3 je rozfázován pohyb řemenice (a tím i hnacího čepu a kamene hnacího čepu v radiální drážce) po 90°. V horním řádku je možno pozorovat, že natočí-li se kámen hnacího čepu o 180°, vykoná protější strana radiální drážky a tedy i posuvný kámen vačkového hřídele natočení větší. Což při stejném čase k vykonání natočení znamená zvýšení úhlové rychlosti vačkového hřídele (v průběhu zdvihu ventilů) vůči řemenici a tudíž ke zkrácení doby otevření sacích ventilů daného válce (220°). [25]



Obr.2.3.3 rozfázování VVC [26]

V prostředním řádku je zřetelně vidět, že natočení hnacího kamene a protější strany radiální drážky je totožné a excentrický mechanismus neurychluje ani nezpomaluje vačkový hřídel. Doba a průběh otevření sacích ventilů je tedy určen výhradně profilem vačky a ventily jsou otevřeny po dobu 260° natočení klikového hřídele. Pokud se řídící objímka natočí více do své krajní polohy, dojde k opačnému jevu než v horním řádku. Vačkový hřídel vykoná menší natočení než řemenice a při stejném čase tedy sníží svoji úhlovou rychlost v průběhu zdvihu ventilů a sací ventily jsou takto otevřeny po dobu 295° natočení klikového hřídele. [66]

Jak již bylo uvedeno, mění se úhlová rychlost vačkového hřídele každého válce v průběhu jedné otáčky, čímž je měněn i průběh zdvihu ventilů. Změna se dosahuje natáčením excentrické objímky, opatřené na vnějším obvodu ozubením, do něž zapadá pastorek na konci řídícího hřídele. Pastorek na jeho protějším konci pak ovládá natočení objímky excentrického mechanismu druhé dvojice válců. Samotný hřídel je elektrohydraulickou řídící jednotkou natáčen ozubenou tyčí. [66]

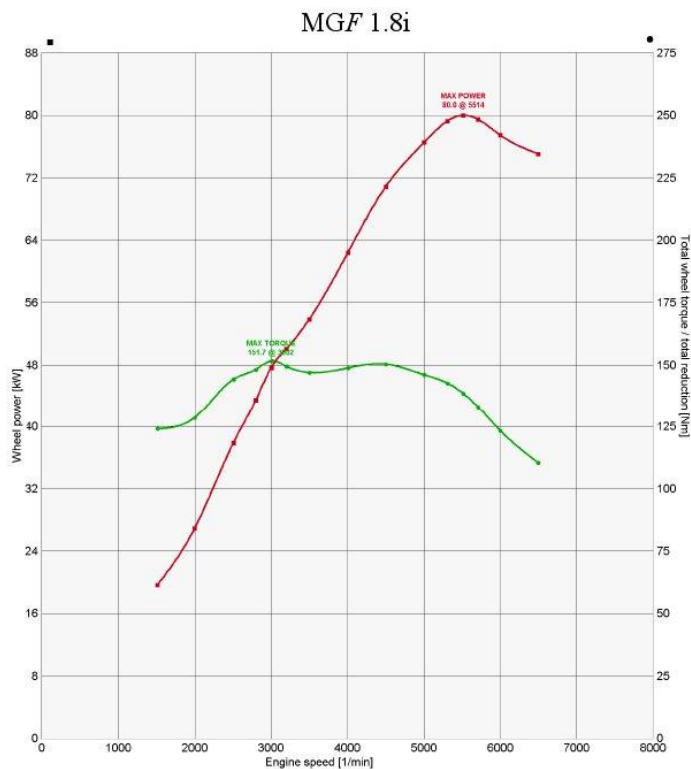


Obr.2.3.4 Diagram rozsahu otevření ventilů [29]

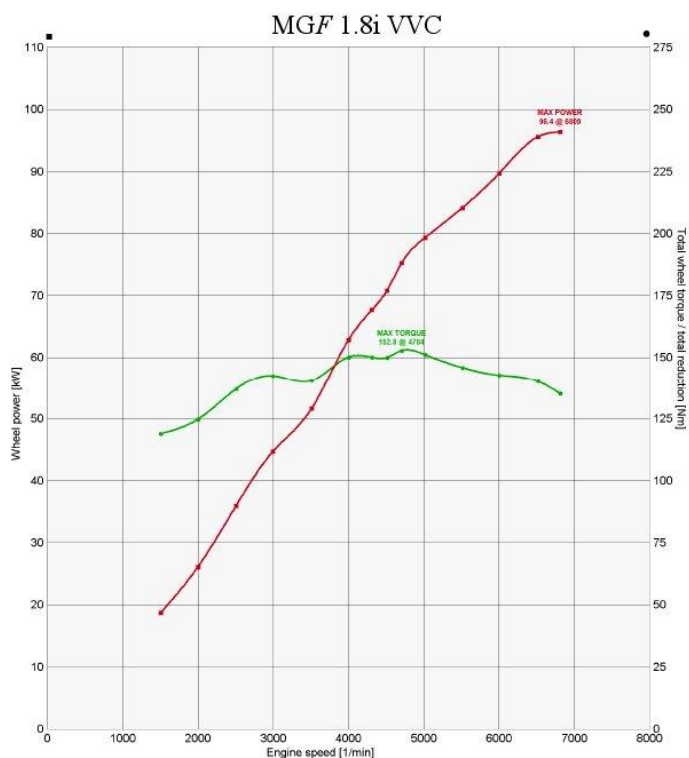
Po aplikaci toho systému u motoru řady K 1,8i (pohánějícího např. vůz MGF, Lotus 111S, Caterham Seven, Rover 75 a 45 atd.) došlo nejen k nárůstu špičkového výkonu z 88kW na 107kW a nižší spotřebě paliva o 5–10%, ale především k „vyhlazení“ a „posílení“ křivky točivého momentu motoru v celém otáčkovém spektru.



K nevýhodám patří vyšší třecí ztráty a velmi drahá potenciální aplikace u šesti a osmiválcových motorů v konfiguraci do „V“, u nichž je třeba použít čtyři excentrické objímky a adekvátní počet dalších součástek a technicky téměř nemožné nasazení u řadových šestiválců a vidlicových dvanáctiválců. [31]



Obr.2.3.5 Motorová charakteristika motoru bez systému VVC [30]



Obr.2.3.6 Motorová charakteristika motoru se systémem VVC [30]



3 ZMĚNA ČASOVÁNÍ A ZDVIHU VENTILŮ – SKOKOVĚ

Opět nastává kompromis mezi režimem vysokých a nízkých otáček a zatížení. V případě velkého zdvihu sacích ventilů je vhodné, aby motor pracoval v režimu vysokých otáček a zatížení, neboť vysoká rychlost a hybnost nasávané směsi umožňuje její dokonalé promísení. Naopak tato charakteristika není vhodná pro nižší otáčky, protože rychlost směsi klesá a s tím i její homogenita. To má za následek špatné prohořívání s nerovnoměrným postupem čela plamene, kde potom hrozí tvorba usazenin, zvýšená spotřeba paliva a nepříznivé složení spalin.

Pokud aplikujeme pouze malý zdvih sacího ventilu optimální pro nízké otáčky a zatížení, nastává problém ve vyšších otáčkách, kdy se nedostává potřebné množství směsi. Zjednodušeně můžeme říci, že pokud máme vysoký výkon ve vysokých otáčkách, chybí nám potřebná tažná síla v otáčkách nízkých. Proto je běžný motor bez VVR kompromis těchto dvou režimů.

Ke změně zdvihu ventilů patří také úplné vyřazení ventilů z činnosti, odpovídající zdvihu nulovému. Hlavní myšlenkou tohoto systému je při částečných zatíženích zvýšit točivý moment odebíraný od určitých válců (větší otevření škrticí klapky), čímž se pracovní oblast těchto válců dostává do oblasti nižší měrné efektivní spotřeby paliva a vyšší účinnosti. Jako kompenzace se naopak část válců takzvaně „vypíná“, tedy nejsou zásobeny palivem. Ovšem bylo by nevýhodné, aby byl u těchto válců píst nasáván a vyfukován pouze čistý vzduch, neboť by docházelo ke zvyšování odporů vlivem proudění přes otevřené ventily. Tímto vyplachováním by se také razantně snižovala pracovní teplota válce, nemluvě o tom, že vyfukovaný vzduch by velmi snižoval teplotu katalyzátoru, a tím i jeho účinnost. Jako nejrozumnější tudíž vychází zrušit vazbu vačkových hřídelů na ventily vypnutých válců. Tím je vzduch ve vypnutých válcích uzavřen a tyto fungují do jisté míry jako pneumatické pružiny, čili energie potřebná na stlačení vzduchu při pohybu pístu do horní úvrati se následně uvolňuje, pohybuje-li se píst z horní do dolní úvrati. Díky hysterezi je ovšem energie získaná při rozpínání nižší (vinou třecích ztrát a přestupu tepla stlačeného vzduchu do stěn spalovacího prostoru) než potřebná pro stlačení. Tímto opatřením nedochází k tak prudkému snížení pracovní teploty vypnutých válců a katalyzátoru. [4]

Vypínání válců se využívá zejména u víceválcových vidlicových motorů, u nichž se vypíná vždy polovina válců a musí proto být zaručeny pravidelné rozestupy zážehů. Příkladem je systém VCM (Variable Cylinder Management) Hondy, kdy V6 motor dokáže na základě zatížení a otáček fungovat na tři, čtyři nebo všech šest válců. [31]

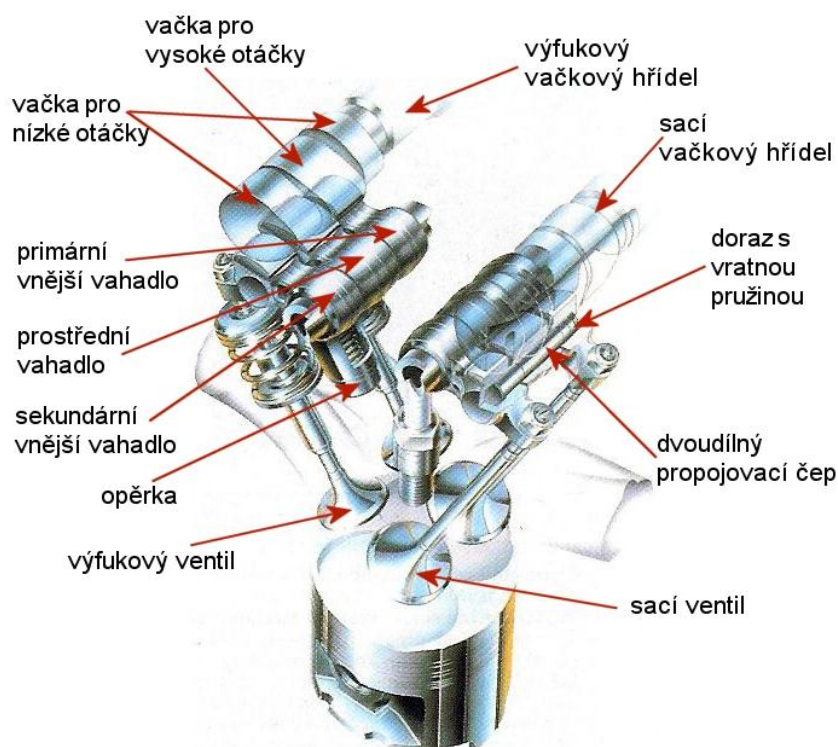


3.1 HONDA VTEC

Mnoho lidí si klade otázku, proč Honda, která svého času vyráběla nejlepší přeplňovaný motor pro formuli 1 (motor RA168E) nezavedla turbomotory do sériové výroby. Za 5 let (1983–1988) strávených s přeplňovanými motory ve formuli 1 se o nich technici Hondy dozvěděli prakticky vše a dospěli k názoru, že nejsou pro sériovou výrobu vhodné. Tento závěr však nastolil základní otázku, jak tedy naplnit filozofii Hondy – motory malého objemu s vysokým výkonem – bez použití přeplňování? Odpověď našli v systému VTEC. [33] Následuje rozdělení typů systémů chronologicky dle jejich příchodu na trh.

3.1.1 DOHC VTEC

V sériově vyráběném automobilu byl VTEC poprvé představen v roce 1989 v modelu Integra XSi/RSi a CRX. Jednalo se o motor B16A o zdvihovém objemu 1595 ccm. U nás jej známe z též z modelů Civic VTi, CRX a CRX del Sol.



Obr.3.1.1 Honda DOHC VTEC [34]

U čtyřventilového motoru s pevným nastavením ventilového rozvodu ovládá každá vačka své příslušné vahadlo a obě vačky jsou na hřídeli od sebe odděleny volným prostorem. U motoru VTEC je v tomto prostoru umístěna třetí vačka s vlastním vahadlem. V nižších a středních otáčkách jsou jak sací tak výfukové ventily ovládány pomocí krajních vaček a jejich vahadel. Každý ventil má však jiný zdvih (sací 5,0 a 8,0 mm / výfukové 4,5 a 7,5 mm) a díky tomu proudí směs převážně okolo více otevřeného ventilu čímž vyvolává intenzivní víření ve spalovacím prostoru a příznivě tak ovlivňuje spalovací proces. Tento efekt umožňuje spalování chudé směsi a přispívá tak k nízké spotřebě paliva, zároveň se však podílí na příznivém průběhu točivého momentu. [33]



Ve vahadlech je uložen hydraulicky ovládaný propojovací čep. Ty jsou propojeny v okamžiku, který určuje řídicí jednotka motoru v závislosti na otáčkách, teplotě chladicí kapaliny, rychlosti jízdy a zatížení motoru. Řídicí jednotka vyše pokyn hydraulickému čerpadlu, které tlakovým olejem (vedeným skrze nosnou hřídel rozvodových pák) posune propojovací čep, takže jsou všechny tři vahadla pevně spojeny. Jejich pohyb je ovšem nyní určován prostřední vačkou s ostrým profilem (zdvih sacího ventilu 10,4 mm a 9,4 mm pro výfukový). Krajiní vačky v tuto chvíli nezabírají. Propojení pák a tedy změna profilu ovládací vačky trvá pouze 0,02 sekundy. Při snížení otáček jednotka sníží tlak působící na spojovací čep a ten se působením vratné pružiny vrací do svoji výchozí polohy a ventily se opět otevírají v závislosti na profilu vaček pro nízké otáčky. [33]



Obr.3.1.2 Honda S2000 [42]

Maximální výkon dosahuje 118 kW při otáčkách 7600 min⁻¹ (z objemu 1595 ccm) a 150 Nm při 7000 min⁻¹. Křivka točivého momentu je tak plochá, že v rozsahu mezi 2100 až 8000 min⁻¹ neklesá pod hodnotu 135 Nm (90% maxima). Hranice výkonu motoru B16Ax byla v průběhu let posunuta směrem vzhůru a tak se verze určená pro japonský trh mohla pochlubit výkonem 125kW při otáčkách 7800 min⁻¹. Vrcholem, který byl v produkci sériových automobilů překonán až roadsterem Honda S2000, je motor B16B Type-R. Jeho výkon 136 kW při 8200 min⁻¹ z něj činí nejvýkonnější nepřepřítňovaný motor v tomto objemu (1595 ccm) na světě. Výběr z motorů DOHC VTEC nelze zakončit jiným než fenomenálním motorem F20C2 pohánějícím výše zmíněnou Hondou S2000. Maximální výkon 177 kW při 8300 min⁻¹ ze zdvihového objemu 1997 ccm. Jeho litrový výkon byl překonán až Ferrari 458 Italia. [33]



3.1.2 SOHC VTEC

Právě tento rozvod dovolil Hondě masově rozšířit systém VTEC. Základem je opět čtyřventilový rozvod a ventily jsou ovládány pomocí jediné vačkového hřídele. Pro každý válec jsou určeny opět tři vačky. Krajní vačky s nízkým profilem ovládají ventily v nízkých a středních otáčkách. Prostřední vačka o vysokém profilu určuje zdvih ventilů při požadavku maximálního výkonu, tedy ve vysokých otáčkách, spojení vahadel je opět realizováno pomocí hydraulicky ovládaného čepu. Princip je tedy stejný jako u DOHC VTEC. Kabel ke svíčke jdoucí v prostoru mezi vahadly ovládající výfukové ventily neumožňuje použití VTEC i na výfukové ventily, které tedy mají neměnný zdvih. To je také základní rozdíl mezi motorem DOHC VTEC a SOHC VTEC. [33]

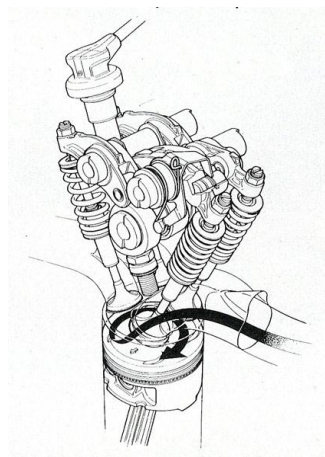
Výhoda použitím rozvodu SOHC VTEC je zřejmá. Oproti konvenčním motorům stejného zdvihového objemu se motory vyznačují vyšším výkonem, nižší spotřebou paliva a plochou křivkou točivého momentu.



Obr.3.1.3 Honda SOHC VTEC [35]

3.1.3 SOHC VTEC-E

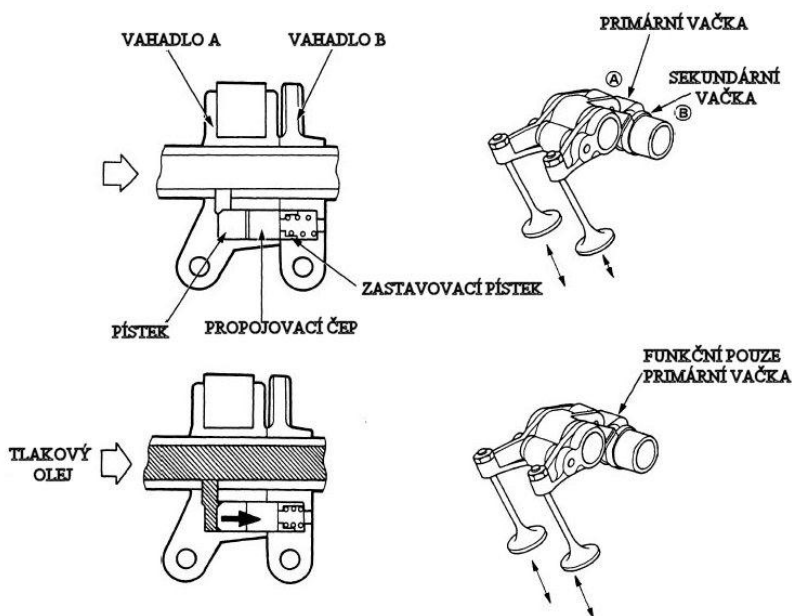
Z názvu by se mohlo zdát, že se jedná klasický SOHC VTEC s důrazem kladeným na ekonomický provoz, z čehož je skutečnost pouze onen ekonomický provoz. Princip funkce je značně odlišný.



Obr.3.1.4 Honda SOHC VTEC-E [36]

Pokud je motor (resp. chladicí kapalina) zahřátý na provozní teplotu, pracuje v nízkém zatížení a v nižších otáčkách ($1800\text{--}3000\text{ min}^{-1}$), vyšle řídící jednotka signál k hydraulickému čerpadlu, které tlakovým olejem posune propojovací čep, takže jsou obě vahadla pevně spojena. Ano, zde, na rozdíl od SOHC VTEC jsou k dispozici pouze vačky dvě o stejném profilu. Systém totiž nevyžívá spojení vahadel k zapojení "ostré" vačky, ale k "vyřazení" jednoho sacího ventilu na válec. Motor pracuje v nízkých otáčkách jako dvanáctiventilový. Profil vačky dovoluje maximální zdvih "vyřazeného" ventilu pouze 0,65 mm, druhý sací ventil dosahuje plného zdvihu 8 mm. Toto řešení zvyšuje rychlost proudění směsi okolo "vyřazeného" ventilu, což vyvolává ve spalovacím prostoru víření, v jehož důsledku se směs stává více homogenní. To umožňuje spalovat velmi chudou směs (směšovací poměr dosahuje hodnot $14,7\text{--}23,5 : 1$). Zároveň je tím dosaženo jejího maximálního vrstvení, což znamená soustředění nejbohatší směsi v prostoru kolem zapalovací svíčky a tím zvýšení její zápalnosti a efektivního využití. [33]

Při požadavku vyššího výkonu je propojením obou vahadel za pomoci hydraulického čepu aktivován druhý, do této doby pasivní sací ventil. Oba ventily pak dosahují stejného zdvihu 8 mm, jenž je určen profilem vačky druhého ventilu. Rozvodem SOHC VTEC-E byly na českém trhu vybaveny motory pohánějící šestou generaci Hondy Civic. Motor zdvihového objemu 1493 ccm byl k dispozici ve dvou výkonových variantách 66 kW při 5500 min^{-1} (D15Z3) a 84 kW při 6500 min^{-1} (D15Z6). O ekonomice tohoto motoru (D15Z6 v modelu Honda Civic LSi r.v. 1996) svědčí i mnou dosažená nejnižší spotřeba na nádrž – 4,7 l / 100 km (udržování konstantní rychlosti 100 km/h dle GPS). Dlouhodobá se poté pohybovala mezi 5,5–6,5 l / 100 km. Svůj vliv na to kromě VVR mělo i dobře navržené sací potrubí a „dlouhé“ uspořádání převodů.



Obr.3.1.5 Schéma systému VTEC-E [71]

3.1.4 3-STAGE VTEC

Jak název napovídá, tento motor má tři různé režimy otevírání ventilů. Je tak dosaženo maximální efektivity v nízkých, středních i vysokých otáčkách. V principu se jedná o kombinaci SOHC VTEC-E a SOHC VTEC, spojující přednosti obou.

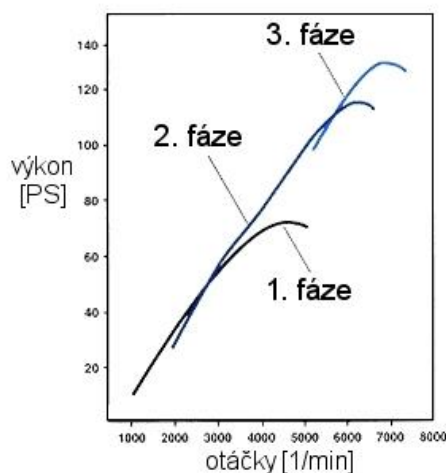


Motor, který se vyráběl pouze s objemem 1,5 l, má čtyři ventily, tři vačky (každá má jiný profil) a vahadla určená pro sací ventily. Tato vahadla mají dva hydraulicky ovládané čepy. První je umístěn nad vačkovou hřídelí a umožňuje propojení obou krajních vahadel sacích ventilů. Slouží k aktivaci sacího ventilu, jenž má v nízkých otáčkách prakticky nulový zdvih. Druhý čep slouží k propojení všech tří vahadel a ventilový rozvod pak pracuje podle profilu "ostré" vačky. [33]



Obr.3.1.6 Honda 3-stage VTEC [38]

První fáze odpovídá rozsahu 0–2500 min^{-1} , motor pracuje s dvanácti ventily, tedy funkčně je shodný se SOHC VTEC-E. Při 2500 min^{-1} vstupuje motor do druhé fáze, jsou zapojeny všechny čtyři ventily a jejich krajní vahadla jsou propojena prvním hydraulickým čepem. Při 6000 min^{-1} motor přechází do fáze číslo tři. Pomocí druhého čepu dojde k propojení všech tří vahadel a určovat zdvih sacích ventilů začne ostrá vačka. Výsledkem je dosažení maximálního výkonu 96 kW při 6900 min^{-1} . Výfukové ventily mají stejně jako v případě SOHC VTEC pevný rozvod. [33]



Obr.3.1.7 Honda 3-Stage VTEC - výkonová charakteristika [38]

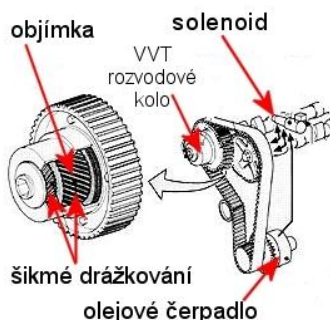
Třífázový VTEC byl uplatněn v motoru typu D15B, který byl určen pro japonský trh. Montoval se do šesté generace modelové řady Civic s označením Ferio VTi / Vi a byl k dispozici i převodovkou CVT.

3.2 TOYOTA VVT

V první řadě je nutno podotknout, že systémy VVR Toyota lze jen obtížně rozdělit dle klasifikace v této práci, neboť by se jejich zástupce vyskytoval v každé sekci. Zároveň nepřinášejí nic převratného, zato ovšem ukazují vylepšené modely předchozích systémů a jejich spojení do fungujících celků. Začnu opět chronologicky podle jejich uvedení na trh.

3.2.1 VVT

Tato koncepce byla poprvé představena v roce 1991 v dvacetiventilovém motoru 4A-GE, který byl montován např. do modelu Corolla. Funguje na principu hydraulického natáčení vačkového hřídele relativně k jeho hnacímu kolu v závislosti na otáčkách motoru. Změna probíhá stupňovitě. [39]

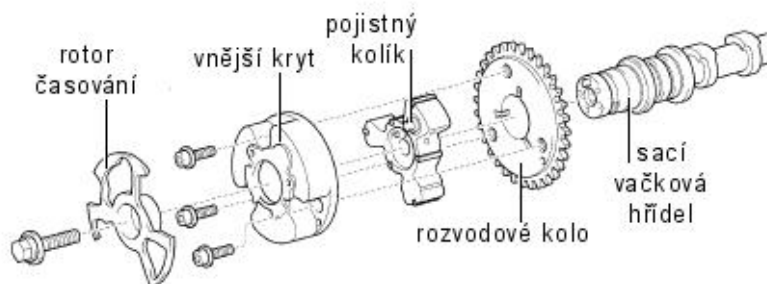


Obr.3.2.1 Toyota VVT – schéma [40]

V určitých otáčkách ($\sim 4400 \text{ min}^{-1}$) řídicí jednotka vyšle signál k otevření solenoidu, který vyšle tlakový olej skrz ložisko a dutou sací vačkovou hřídel k vnitřnímu pístu. Ten zatlačí na objímku, která se vlivem šikmého drážkování axiálně posune, což natočí rozvodové kolo vůči sacímu hřídeli o 30° natočení klikového hřídele. Moment otevření solenoidu je nastaven v okamžiku, kdy mají oba režimy časování shodný výkon. To má za následek vyhlazení křivky točivého momentu. Motor o objemu 1587 ccm udává výkon 118kW při 7400 min^{-1} a 162 Nm při 5200 min^{-1} . [39]

3.2.2 VVT-i

VVT-i byl představen v roce 1996. Mění časování sacích ventilů úpravou vztahu mezi pohonem vačkového hřídele a vačkového hřídele sání stejně jako předchozí VVT, nicméně změna je zde plynulá. Systém umožňuje natočení vačkového hřídele v rozsahu 43° tak, aby časování ventilů bylo optimální pro aktuální provozní podmínky. Zde nalezneme jistou podobnost s německým systémem BMW VANOS. [39]



Obr.3.2.2 Toyota VVTi – schéma regulátoru [44]



Toyota VVT-i regulátor se skládá z vnějšího krytu, který je řízen rozvodovým řetězem, a rotoru časování, který je spojen s vačkovým hřídelem. Tlak oleje, který je závislý na otáčkách motoru, způsobí rotaci rotoru vzhledem k rozvodovému kolu, což má za následek natáčení vačkového hřídele vůči rozvodovému kolu. Když se motor zastaví, VVT-i regulátor je uzamčen na nejvíce zpomaleném úhlu (dotlačený na pojistný kolík). [39]

3.2.3 DUAL VVT-i

Zatímco klasické VVT-i umožňovalo měnit natočení pouze sacího vačkového hřídele, Dual VVT-i tak mění i výfukový vačkový hřídel. Princip funkce je shodný. Prvně byl představen v roce 1998 v motoru 3S-GE pohánějící Toyotu Altezza RS200. Nyní pohání zejména šestiválcové motory Toyoty. [39]

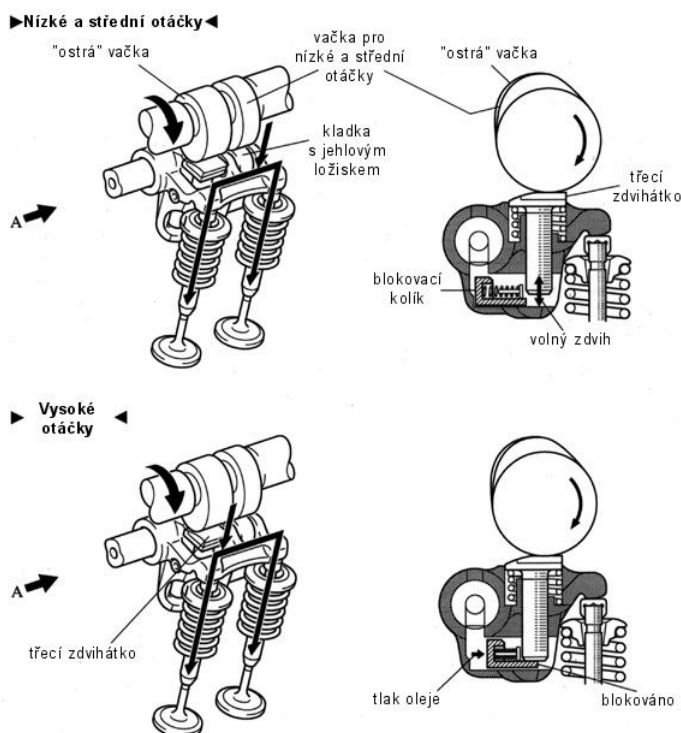
3.2.4 VVT-iE

Jedná se o verzi Dual VVT-i která využívá elektronicky ovládaný regulátor pro sací vačkový hřídel namísto hydraulického ovládání. Výfukový vačkový hřídel zůstává ovládán hydraulicky. Toto řešení je efektivní zejména při nízkých otáčkách a teplotách, kdy umožňuje přesnější řízení. Tento systém využívají zejména vozy Lexus, představen byl v modelu LS 460 s motorem 1UR. [49]

3.2.5 VVTL-i

VVTL-i (Variable Valve Timing and Lift – inteligent) je kombinací VVTi a změny zdvihu ventilů, které volně vychází ze systému VTEC. Princip je totiž obdobný, zahrnuje dva různé profily vaček. Vačka pro nízké otáčky má menší zdvih a kratší dobu otevření než vačka pro vysoké otáčky. Obě vačky ovládají jedno široké vahadlo, jež působí na oba sací, nebo oba výfukové ventily. Při nízkých otáčkách je vahadlo poháněno vačkou s menším zdvihem, přes kladku uloženou na čepu na jehlovém ložisku (kvůli třecím ztrátám). Vačka pro vysoké otáčky ovládá vahadlo pomocí třetího zdvihátka, opatřeného navíc vratnou vinutou pružinou s relativně malou tuhostí, která absorbuje zdvih vačky s velkým zdvihem a vyřazuje tak tuto vačku z činnosti při nízkých otáčkách. [39]

Při otáčkách 6000 min^{-1} vyšle řídicí jednotka motoru signál do elektromagnetického hydraulického řídicího ventilu na konci dutého čepu, na němž vykyvuje vahadlo. Ventil uzavře výstup tlaku ze systému, čímž se zvýší tlak oleje za blokovacím kolíkem ve vahadlu (do té doby slouží protékající olej pouze k mazání). Ten se tímto tlakem posune pod třetí zdvihátko, které je prostřednictvím tohoto kolíku opřeno o vahadlo, a ventily jsou nyní ovládány vahadlem, na něž působí vačka pro vysoké otáčky. [39]



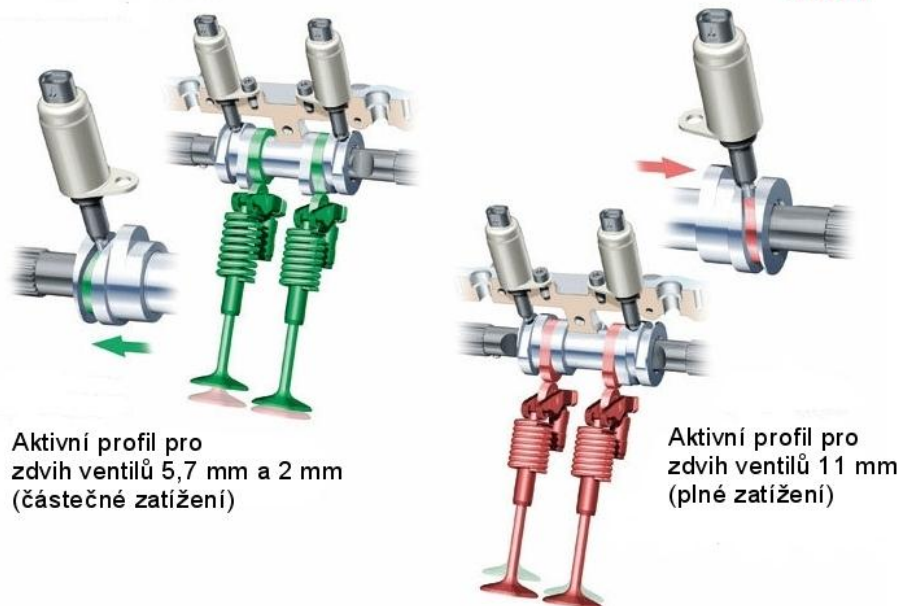
Obr.3.2.3 Toyota VVTL-i – schéma [44]

Zdvih ventilů je měněn z původních 7,6 mm při nízkých a středních otáčkách pro oba ventily na 11,2 mm pro sací a 10 mm pro výfukové ventily při vysokých otáčkách. Motor 2ZZ-GE poprvé použit v roce 2000 v Toyota Celica GTS přináší výkon 135 kW při 7600 min⁻¹ a točivý moment 107 kW při 6400 min⁻¹. Nicméně pohonná jednotka nesplňovala emisní limity Euro IV, což se projevilo na prodeji modelu v Evropě. [41]

3.3 AUDI VALVELIFT

Systém, který umožňuje změnu zdvihu ventilů, debutoval v roce 2006 v šestiválcovém motoru o objemu 2,8 l a výkonu 154kW v modelu Audi A8. Rozvod byl navíc vybaven i změnou časování ventilů na principu fázového měniče (podobně jako Porsche VarioCam nebo BMW VANOS). [46]

V porovnání se systémem Honda VTEC či Toyota VVTi, Valvelift nepoužívá žádné vložené komponenty mezi zdvihátkami ventilů a vačkovým hřídelem. Jako samostatné díly jsou řešeny dvě sací vačky odlišného profilu spolu se vně vytvořenými spirálovými drážkami s navzájem opačnými směry vinutí. Na hřídeli jsou umístěny prostřednictvím vnitřního ozubení, umožňující axiální posuv mezi dvěma krajními polohami o 7 mm. Přesun mezi polohami je zajištěn dvěma výsuvnými čepy umístěnými v hlavě válce nad vačkovým hřídelem. Po povelu řídicí jednotky je vysunut elektromagneticky řízený čep do spirálovité drážky ve vačkovém hřídeli, což vyvolá axiální posuv sestavy sacích vaček. Pružinou ovládaný zámek uzamkne vačku ve výchozí pozici až do další změny. Ve chvíli, kdy je aktivována druhá pístnice, se čep první pístnice zasune dovnitř mechanicky. Celý proces trvá dvě otáčky klikové hřídele. [45]

Audi valvelift system**Obr.3.3.1** Audi Valvelift – schéma [45]

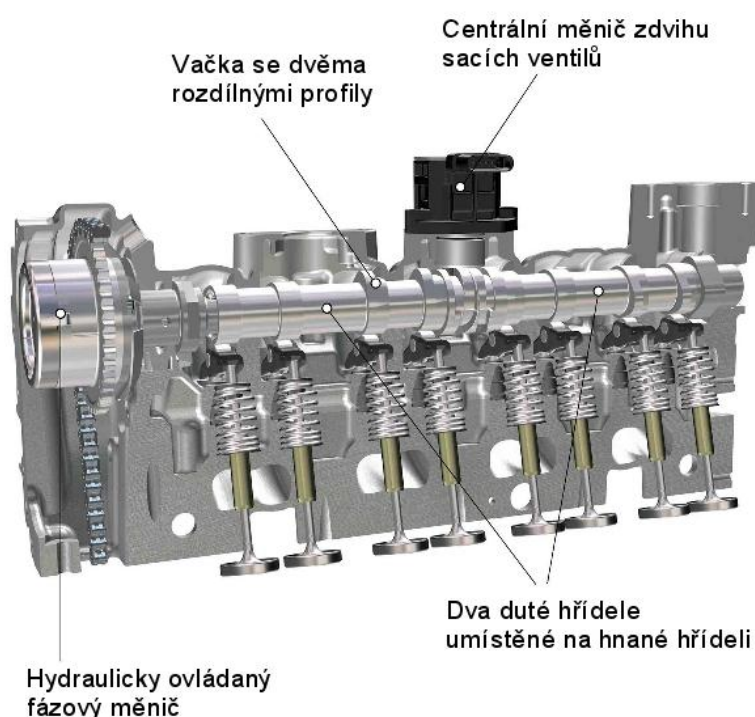
Každý sací ventil může být ovládán „ostrou“ vačkou se zdvihem ventilů 11 mm pro plné zatížení nebo vačkami se zdvihem ventilů 5,7 mm a 2 mm pro nízké a střední zatížení. Rozdílný zdvih zde zajišťuje víření směsi v nízkých otáčkách, neboť okolo ventilu se zdvihem 2 mm v důsledku malého průtočného průřezu narůstá rychlost nasávané směsi. Jak již bylo řečeno u předchozích konstrukcí (VTEC-E), toto řešení přináší významnou úsporu paliva díky spalování chudé směsi. Změna zdvihu ventilů probíhá v rozmezí otáček 700 – 4000 min⁻¹ a společně se šesti stupňovou převodovkou vozidlo dokáže udržovat rychlost do 150 km/h za použití nižšího profilu vaček. Na rozdíl od svých konkurentů, Audi Valvelift vznikl primárně nikoliv za účelem vyššího výkonu, ale pro lepší spotřebu paliva. Prokazatelně se zlepšila o 7% oproti shodnému motoru systému Valvelift. [46]

3.4 MERCEDES CAMTRONIC

Mercedes představil svůj vlastní systém variabilního ventilového zdvihu Camtronic v přeplňovaném motoru M270 o objemu 1,6 l v roce 2012. Důvod pro jeho zavedení byla opět zejména redukce spotřeby paliva. Do oblasti VVR nepřináší nic nového, nicméně je zde vidět pokrok oproti velmi podobnému Audi Valvelift, zejména v nižším počtu použitých akčních členů. I Camtronic se v částečném zatížení přepíná na vačku s nižším profilem a reguluje tak i množství nasávaného vzduchu, zatímco škrtecí klapka zůstává otevřena. Změna vačky je možná opět ve dvou stupních. [46]



Vačkový hřídel sacích ventilů je poháněn fázovým měničem s rozsahem změny 40° natočení klikového hřídele (viz Porsche VarioCam). Hřídel samotná se sestává z vnitřní nosné hřídele a dvou dutých hřídelů, z nichž každá zajišťuje obsluhu sacích ventilů pro dva válce. Díky vnitřnímu drážkování duté hřídele umožňují axiální posuv, který nastane vysunutím příslušného čepu do spirálovité drážky. Ten je vysouván elektronicky z centrálně umístěného akčního členu. Vačky mají dva profily (nízký zdvih a plný zdvih), mezi kterými se přepíná vysunutím jednoho z čepů do spirálovité drážky a následným axiálním posuvem dutých hřídelů. Změna do původní polohy probíhá vysunutím druhého čepu do spirálovité drážky s opačným smyslem rotace. [48]



Obr.3.4.1 Mercedes Camtronic [47]

Regulace zatížení při aktivní vačce s nízkým zdvihem je realizována několika způsoby. Při velmi nízkém točivém momentu je regulace zajištěna škrtkací klapkou, při vyšším je škrtkací klapka otevřena a směs je nasávána aktuálním otevřením sacích ventilů. Při maximálním točivém momentu dovolující použití sací vačky s nižším zdvihem se využívá přeplňovací účinek turbodmychadla. Při vyšších otáčkách a zatížení se systém přepne na vačku s vyšším zdvihem, kde regulace zatížení funguje analogicky. [48]

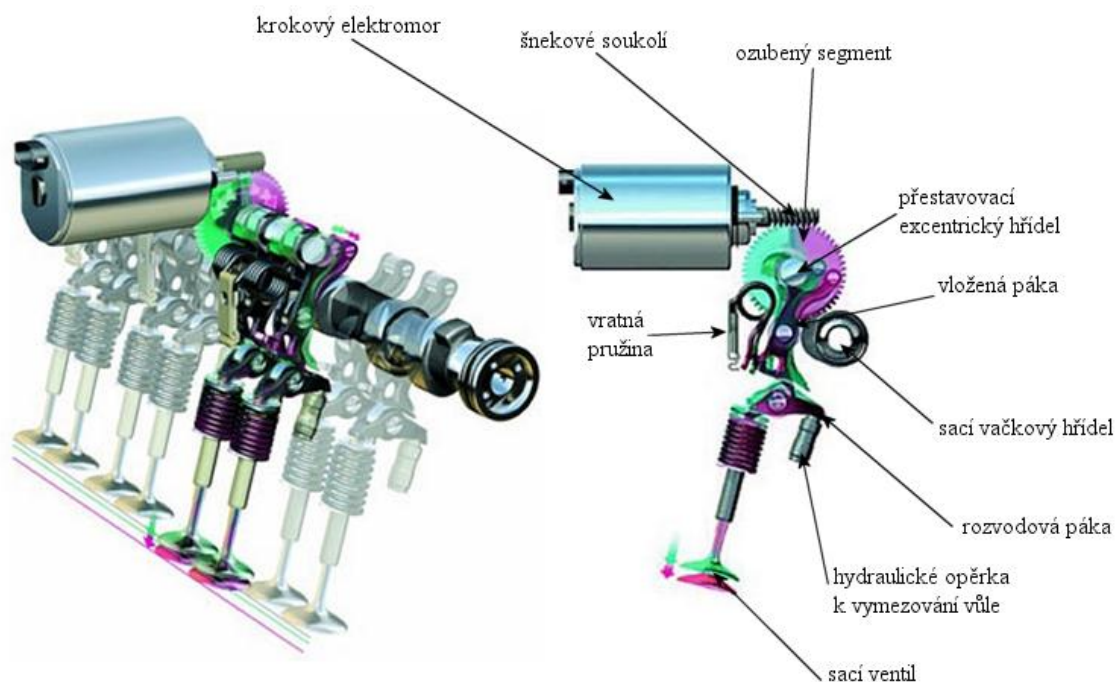


4 ZMĚNA ČASOVÁNÍ A ZDVIHU VENTILŮ – PLYNULE

V úvodu bylo řečeno, že cesta k vyšší účinnosti motoru vede i skrz odstranění škrticí klapky a jejím nezanedbatelným pneumatickým ztrátám. K tomu přistupují čistě mechanickou cestou systémy BMW Valvetronic (společně s Double VANOS), Ricardo Phaselift a Toyota Valvematic. Další možností je použití plně hydraulických ovládaní ventilů, která je popsána v systému Fiat MultiAir. Tak je možno řídit plynule zdvih ventilů, počátek otevření a jeho délku. Další podobné systémy na trhu jsou: Nissan VVEL, Honda A-VTEC, Mitsubishi MIVEC a další.

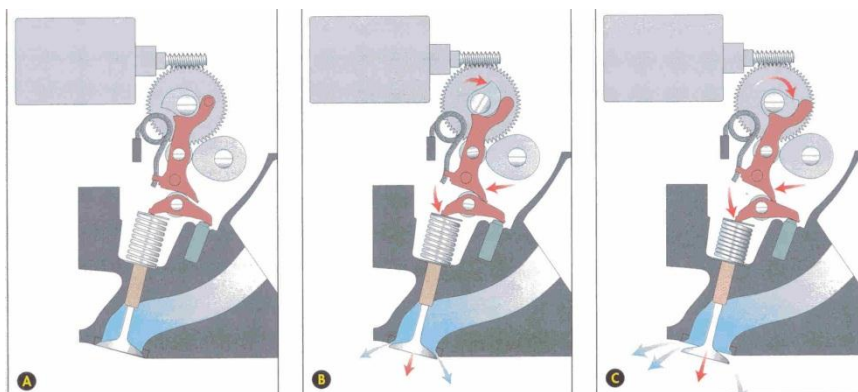
4.1 BMW VALVETRONIC

Byl poprvé představen v roce 2001 v modelu BMW 316ti Compact, v řadovém čtyřválcí s označením N42B18 o objemu 1,8 l. Plně variabilní časování sacích ventilů označované Valvetronic je kombinací systému Double VANOS (měnícího relativní polohu vačkového a klikového hřídele) a elektromechanického zařízení, plynule měnícího zdvih sacích ventilů v rozsahu 0,2 mm (při brždění motorem) až 9,7 mm (plné zatížení). Při volnoběžném režimu je zdvih 0,25 mm. [53]



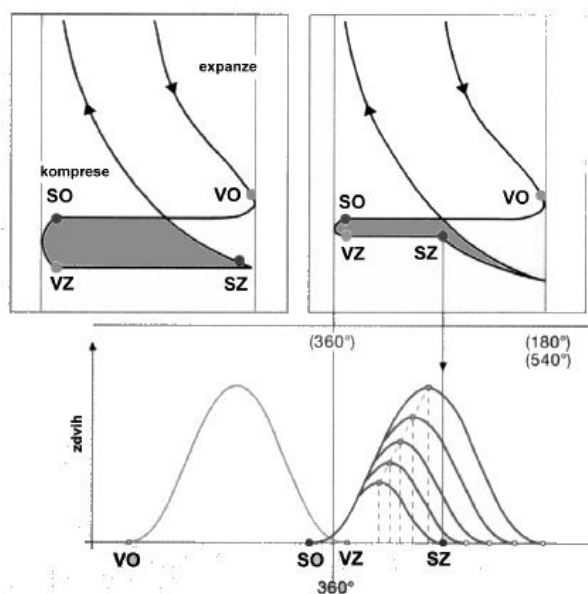
Obr.4.1.1 BMW Valvetronic [51]

Vačka vačkového hřídele nepůsobí přímo na rozvodovou páku, ale na kladku vložené páky. Změnou polohy této vložené páky se mění mechanický převod mezi vačkou a vahadlem a tím i skutečný zdvih sacích ventilů. Změna polohy vložené páky se uskutečňuje pootočením přestavovacího excentrického hřídele. Ten je ovládán krokovým elektromotorem přes šnekové soukolí. Změna nastavení mezi nejmenším a největším zdvihem trvá 0,3 s. Vymezení vůle zajišťuje hydraulická opěrka. [1]



Obr.4.1.2 BMW Valvetronic - rozfázování [52]

Tento systém variabilního časování sacích ventilů plně nahrazuje klasickou škrticí klapku v sání (která je stále plně otevřená a je aktivována pouze při nouzovém režimu). Regulace množství zápalné směsi přiváděné do spalovacího prostoru již není realizováno uzavíráním škrticí klapky v sacím traktu, ale různým, plynule proměnným zdvihem sacích ventilů. Použití systému Valvetronic, přináší úsporu asi 10 % paliva. Přínos této koncepce nespočívá pouze ve snížení spotřeby paliva, která není na úkor množství škodlivých emisí, ale také v mnohem klidnější běhu motoru a rychlejší reakce na sešlápnutí akceleračního pedálu. [1]



Obr.4.1.3 Řízení množství nasávané směsi[52]

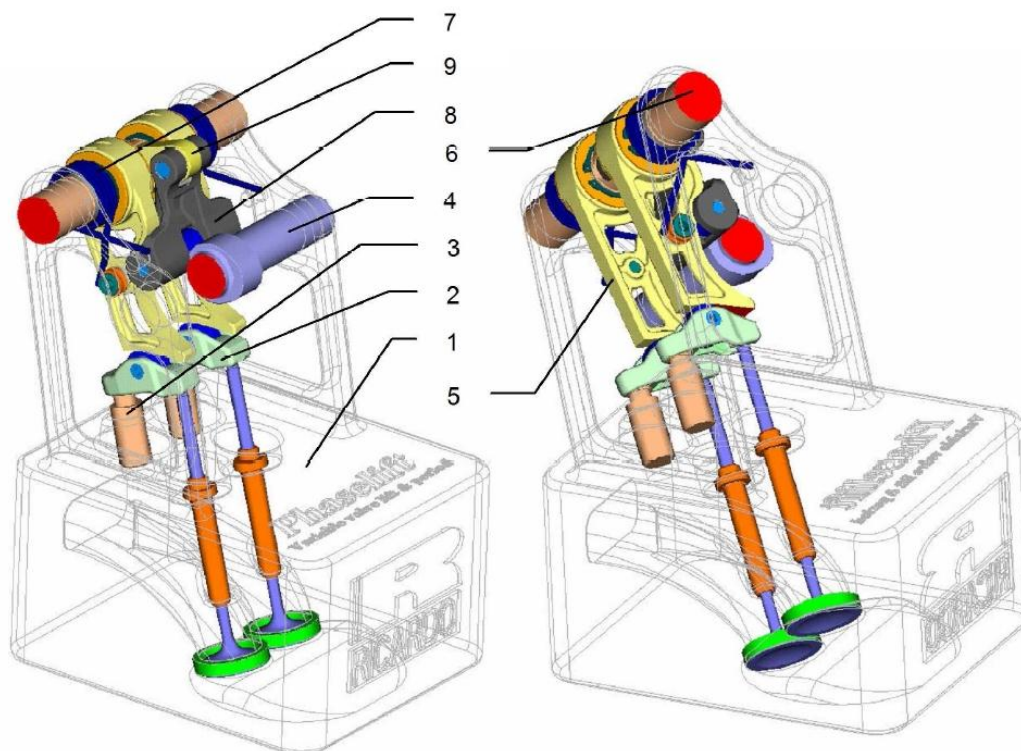
Možnost řízení plynulé změny zdvihu a doby otevření sacího ventilu umožňuje vynechání škrticí klapky v sacím potrubí (která slouží pouze ke korekci nasávaného vzduchu, plně je aktivována pouze při nouzovém režimu). Nastavování pracovního režimu motoru dle požadavku vyjádřeného sešlápnutím pedálu akcelerator, tj. množství nasávané směsi, určuje zdvih a doba otevření sacího ventilu, viz Obr.4.1.3. Pro porovnání je v levé horní části obrázku zobrazen průběh tlaku ve válci motoru při použití klasické škrticí klapky. Z porovnání ploch (šedě vybarvených), odpovídajících velikosti práce potřebné pro nasátí příslušného množství čerstvé směsi vidíme, že řízení sání ventilem přináší značné úspory. Proto tento motor vykazuje relativně velký pokles spotřeby paliva na režimech volnoběhu a nízkých zatíženích. [53]

4.2 RICARDO PHASELIFT

Jedná se o variabilní systém ovládání ventilů navržený zejména pro regulaci zatížení zážehového motoru bez užití škrticí klapky. Systém je schopen spojitě měnit velikost zdvihu ventilu od nulového do maximálního. Závisle na změně zdvihu ventilu se mění délka periody otevření ventilu. Celková deaktivace ventilů je možná. Mechanismus je navržen tak, že umožňuje zachovat konstantní polohu počátku otevírání ventilu nezávisle na změně jeho zdvihu, popř. umožnit definovaný posun tohoto bodu v určitém rozsahu v závislosti na zdvihu ventilu. Popisovaný systém je navržen a konstruován pro ventilový rozvod zážehového motoru se 4 ventily ve válci. [54]

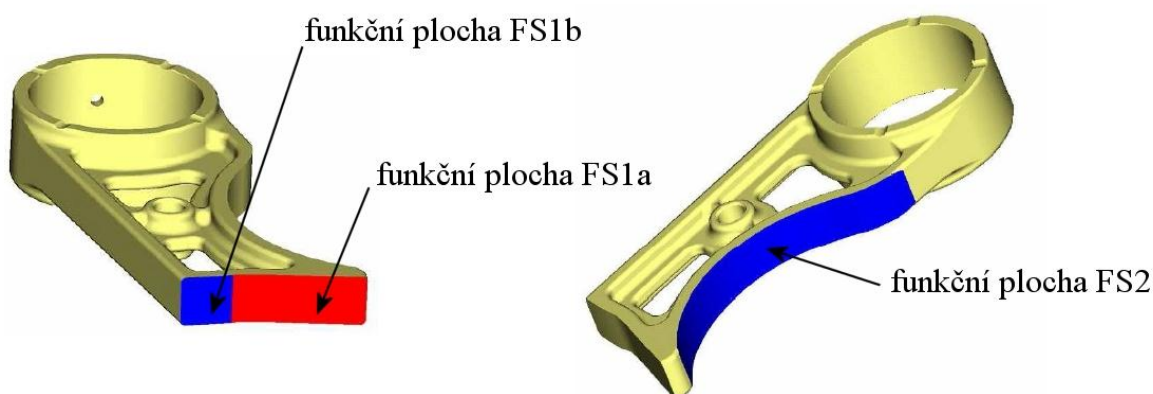
Stagnace vývoje od roku 2006 potvrzuje hypotézu, že se zjistila podobnost s již patentovaným japonským systémem.

Základ mechanismu tvoří hlava válců (1) se standartním uspořádáním ventilů. Pohyb ventilů je realizován pomocí klasicky umístěných ventilových vahadel s rolničkami (2) podepřených na konci hydraulickými vymezovači vůle ventilů (3). Zdvih ventilů je aktivován v hlavě válců umístěným vačkovým hřídelem (4) s jednou vačkou pro oba ventily daného válce. Mezi palec vačky a rolničku ventilových vahadel jsou umístěny prvky mechanismu umožňující provádět změny charakteristiky zdvihu ventilů. Hlavním členem je vložené vahadlo (5) výkyvně uložené na průběžném hřídeli vahadel (6) a do výchozí polohy tlačené vratnou pružinou (7). Druhý konec vahadla tvoří funkční plocha – vačkový segment, která je v kontaktu s rolničkou vahadel ventilů. Mezi vložené vahadlo a palec vačky je umístěn mezičlen (8) se třemi koaxiálně uloženými rolničkami. Rolničky po stranách jsou v kontaktu s boční funkční plochou vloženého vahadla, prostřední rolnička s vačkou. Druhý konec mezičlenu je výkyvně spojen s ramenem (9) pevně spojeným s hřídelem vahadel (6), který je zároveň akčním členem regulace. [54]



Obr.4.2.1 Schéma konceptu Ricardo Phaselift [54]

Na vloženém vahadle jsou vytvořeny dvě funkční plochy. Na straně ventilů je vačkový segment – plocha FS1, tvořená dvěma částmi. Část FS1a je tzv. nezdvihová, tvořená válcovou plochou s osou totožnou se středem otáčení vahadla. Je-li tato část v kontaktu s rolničkou vahadla, neprovádí se pohybem vloženého vahadla žádný zdvih ventilů. Část FS1b je tzv. zdvihová, která zajišťuje zdvih ventilu (je to ve skutečnosti bok vačky). Na straně vačkového hřídele je funkční plocha FS2 přesně definovaného tvaru. Tato plocha tvoří v příčném řezu/bokorysu společně se základní kružnicí vačky radiální klínovou mezeru, ve které se pohybují rolničky mezičlenu. Pohybem válcových rolniček v této radiální klínové mezeře dochází ke změně počáteční polohy vloženého vahadla. Změnou této polohy se zároveň mění délka záběru nezdvihové části FS1a vačkového segmentu. [54]



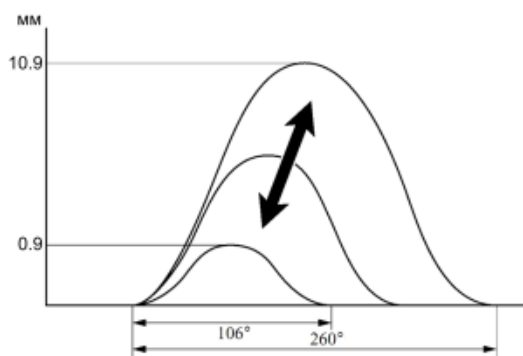
Obr.4.2.2 Funkční plochy vahadel [54]

Podstatou spojitě změny zdvihu ventilu a periody otevření jsou dva rozdílné principy. Prvním je spojitá změna počáteční polohy vloženého vahadla. Druhým je změna převodového poměru pohybu mezi vačkou a vloženým vahadlem, která ovlivňuje pouze zdvih ventilu. Obě změny jsou způsobeny změnou polohy rolniček mezičlenu vzhledem k vačce a vloženému vahadlu. Natáčení hřídele vahadel mění polohu rolniček mezičlenu v radiální klínové mezeře a mění tím počáteční polohu vloženého vahadla, což způsobuje změnu délky záběru nezdvihové části vačkového segmentu s rolničkou vahadla ventilů. Je-li v záběru minimální část této plochy, mechanismus provádí maximální zdvih ventilů a maximální délku periody otevření. Zvětšováním délky záběru nezdvihové části se zmenšuje zdvih i perioda. Trvá-li záběr nezdvihové části vačkového segmentu s rolničkou vahadla ventilů po celou dobu výkyvu vloženého vahadla, je dosažena deaktivace ventilů. Obě změny dohromady působí redukci velikosti maximálního výkmitu vloženého vahadla a tím redukci zdvihu ventilu a ve spolupráci s relativním posunem počátku a konce otevírání ventilu i změnu délky periody jeho otevření. Boční funkční plocha vahadla (FS2) ovlivňuje také polohu počátku otevírání ventilu. Tvar a poloha této plochy vzhledem k tvaru boku vačky na vačkovém hřídeli v poloze, kdy právě dochází k počátku otevírání ventilu, ovlivňuje posun tohoto počátku v závislosti na změně zdvihu ventilu. Např. jsou-li tyto plochy při této poloze vačky ekvidistantní, nedojde vlivem změny zdvihu ventilu ke změně počátku otevírání, neboť posun rolniček mezičlenu touto ekvidistantní mezerou nemění polohu vloženého vahadla. Tímto způsobem byl odladěn virtuální model mechanismu, což dokazují přiložené výsledky. Vhodným tvarem funkční plochy vahadla (FS2) lze tedy nastavit vhodný posun počátku otevírání ventilu v závislosti na změně zdvihu (potažmo tedy na zatížení motoru) dle požadavků daného motoru a omezit tak nutné zásahy zařízení pro fázování ventilového rozvodu (natáčení vačkových hřídelů). [54]



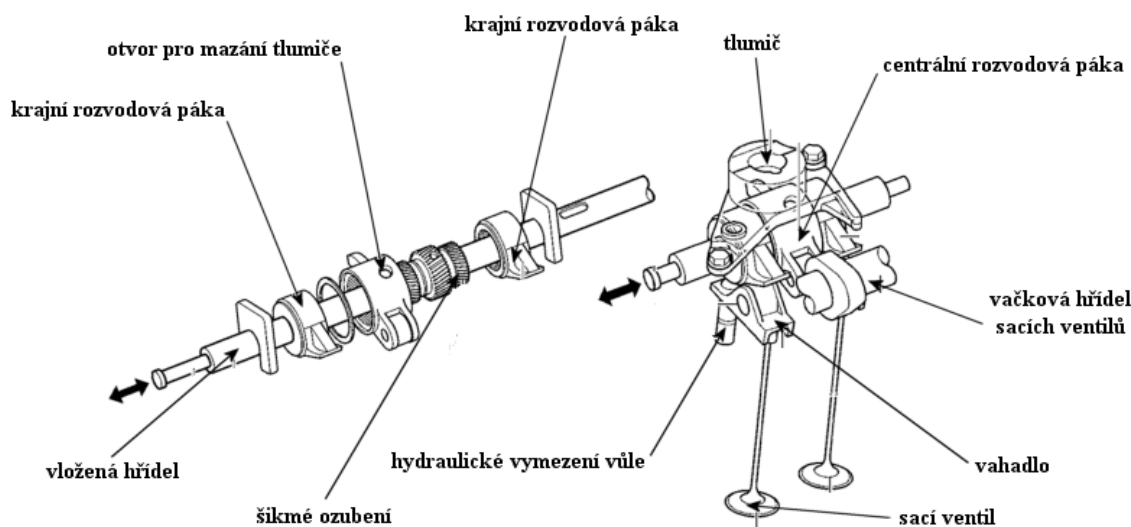
4.3 TOYOTA VALVEMATIC

Toyota debutovala mezi CVVL (Continuously Variable Valve Lift – plynulý variabilní zdvih ventilu) v roce 2008 se systémem Valvematic integrovaným do nepřepřlňovaného řadového čtyřválcového 3ZR-FAE o objemu 1986 ccm. Valvematic ovládá objem nasávané směsi pomocí nepřetržité regulace zdvihu sacích ventilů z 0,9 mm po plný zdvih 10,9 mm. Navíc také reguluje okamžik otevírání a zavírání ventilů pomocí výše zmíněného Dual VVT-i, což umožňuje eliminaci škrtkové klapky (ač stále plní funkci v nouzovém režimu) a tím i snížení ztrát v sání. Motory se systémem Valvematic jsou také často vybaveny sacím potrubím s proměnnou délkou, které ještě více zlepšuje efektivitu proměnného zdvihu ventilů. [59]



Obr.4.3.1 Závislost zdvihu ventilů na době otevření ventilů pomocí VVT-i [55]

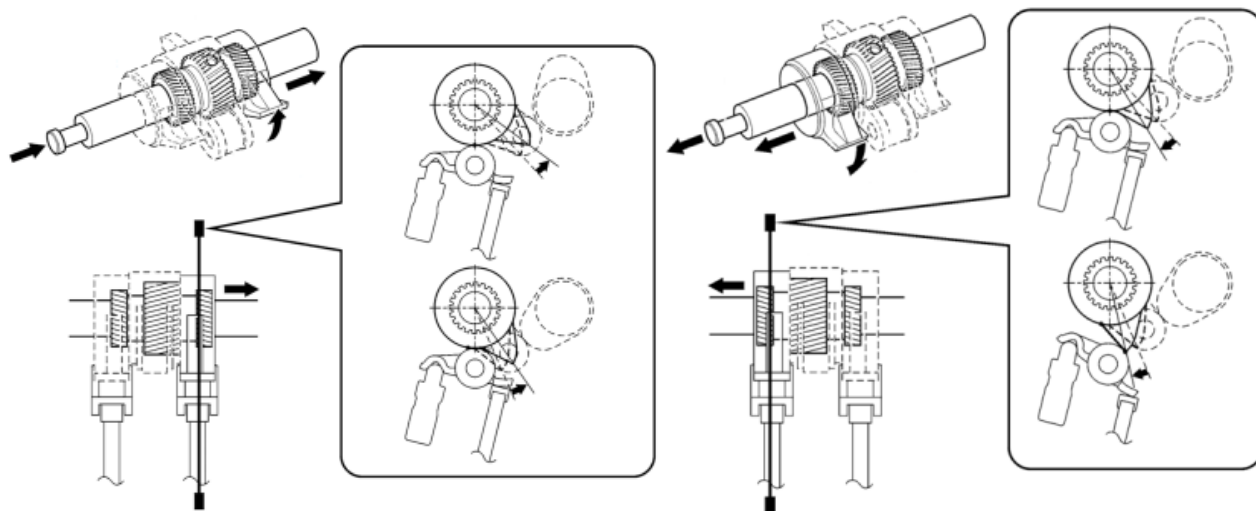
Plynulá regulace zdvihu je realizována takto: Vložená hřídel, umožňující axiální posuv, se zalisovanými koly se šikmým ozubením, nese 3 rozvodové páky s vnitřním šikmým ozubením pro každý válec. Centrální rozvodová páka skrz kladičku kopíruje pohyb vačky, tlumič zajišťuje potřebnou přitlačnou sílu. Skrz šikmé ozubení je přenášen moment z centrální rozvodové páky na krajní rozvodové páky, které prostřednictvím vahadel s hydraulickým vymezením vůle určují zdvih sacích ventilů. Díky šikmému ozubení se axiálním posuvem vložené hřídele mění relativní poloha krajních rozvodových pák vůči centrální rozvodové páce. Tím je dosažen spojitá, plynulá změna zdvihu sacích ventilů. Šikmé ozubení centrální rozvodové páky a krajních rozvodových pák mají vůči sobě opačný směr orientace zubů, což se projevuje opačným natočením pák vůči sobě. [59]



Obr.4.3.2 Schéma systému Valvematic [56]

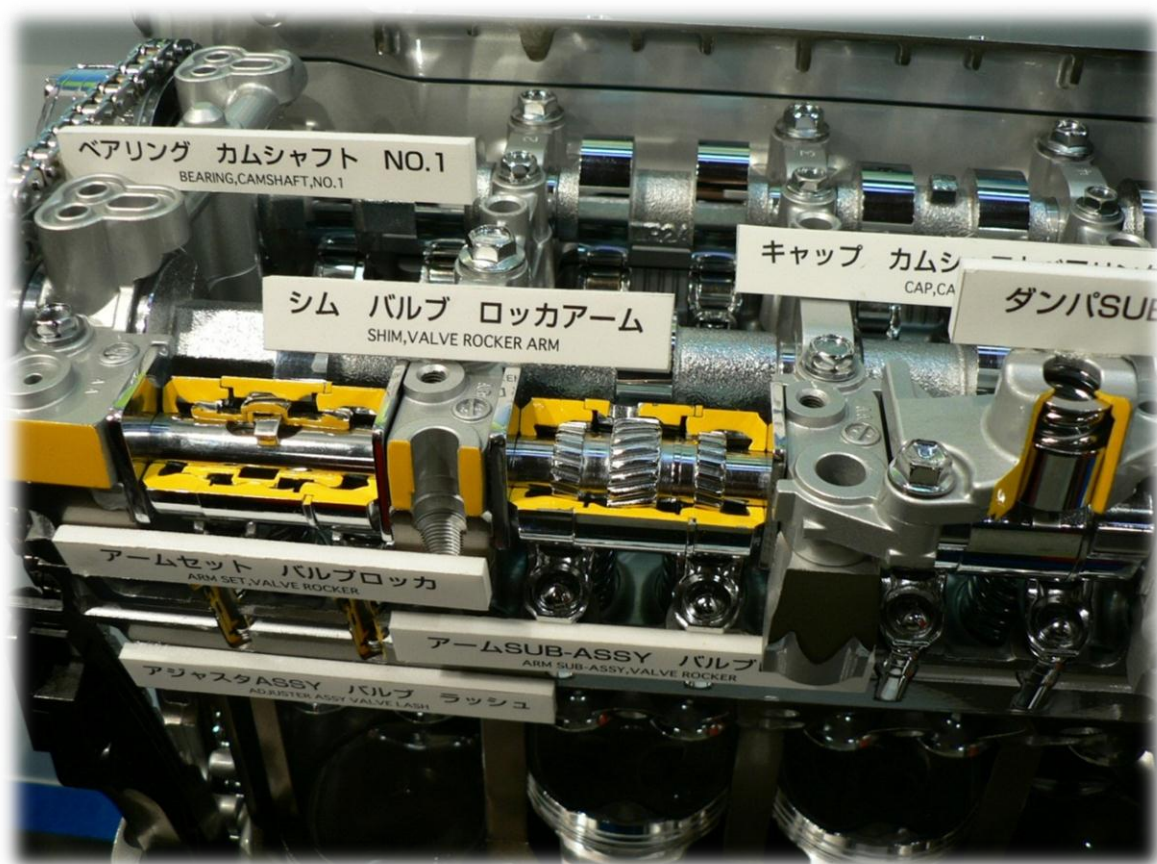


Axiální posuv je realizován elektromotorem umístěným na konci vloženého hřídele, na opačné straně než jsou umístěny rozvodová kola se systémem Dual VVT-i. Prostým posuvem je tedy možno měnit úhel záběru mezi krajním a centrálním rozvodovým kolem a tím tak snadno realizovat zdvih. [59]



Obr.4.3.3 Princip regulace zdvihu ventilů [57]

Díky použití systému Valvematic došlo na testovaném motoru 3ZR-FAE ke snížení spotřeby paliva o 5–10%, a nárůstu maximálního výkonu ze 106kW na 116kW při 6600 min⁻¹. [59]



Obr.4.3.4 Řez systémem Valvematic [58]



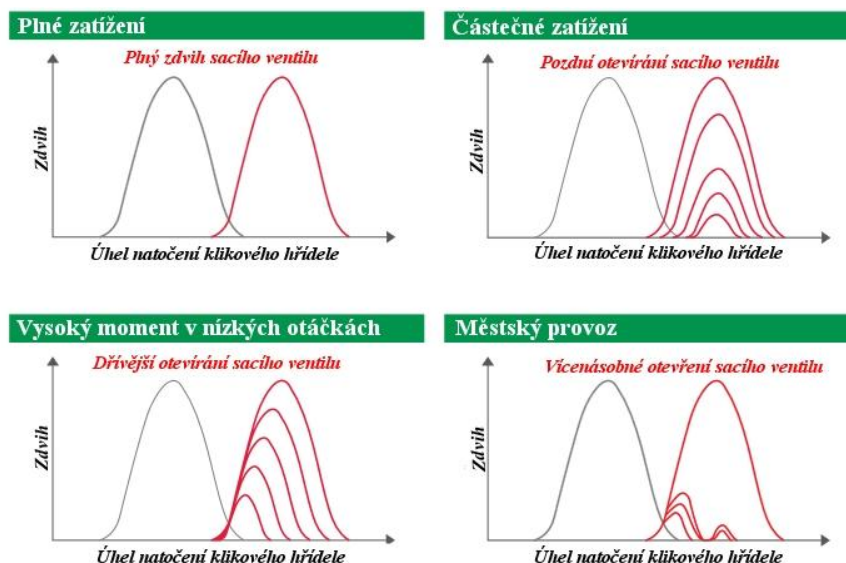
4.4 UNIAIR

Systém typu VVA (Variable Valve Actuation – variabilní řízení ventilů) UniAir je další generací způsobů ovládání ventilů vyvíjený od roku 2001 ve výzkumném středisku automobilky Fiat a společnosti Schaeffler group. Poprvé se dočkal sériové produkce v září 2009 v motoru pod marketingovým označením MultiAir v modelu Alfa Romeo MiTo. Dnes je tato koncepce rozšířena v dalších modelech italských automobilek, například Fiat Bravo, Fiat Punto, Alfa Romeo Giulietta či Lancia Delta. Shodný motor v modelech Fiat 500 a Lancia Epsilon nese název TwinAir. [61]



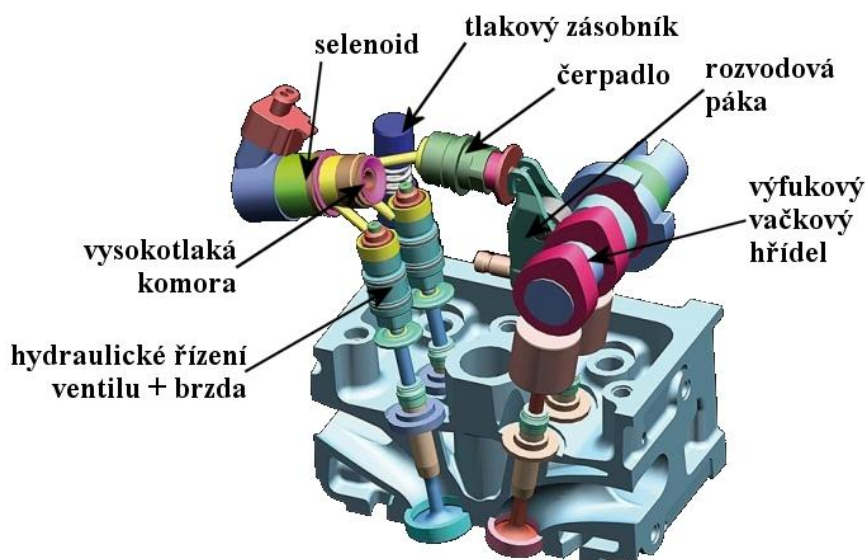
Obr.4.4.1 Rozvod MultiAir [61]

Mechanická funkce vačky je doplněna elektronicky řízeným hydraulickým systémem mezi vačkou a sacím ventilem, který může podle okamžitého provozního režimu motoru měnit počátek a konec otevření ventilů, jejich dobu a zdvih. Hlavním přínosem celého systému je schopnost řídit každý ventil zvlášť, nezávisle na ostatních. Systém umožňuje snížení spotřeby paliva o 10% až 15% a stejné zvýšení výkonu a točivého momentu. S jeho pomocí lze též vyřadit některé válce z provozu, je-li to vyhovující pro režim jízdy. [1]



Obr.4.4.2 Jízdní režimy UniAir [61]

Regulátor, který ovládá otevírání a zavírání sacích ventilů, je řízen přes specificky tvarované vačky na výfukovém vačkovém hřídeli, dále pak ovládán řídicí jednotkou vozidla. V zážehových motorech umožňuje eliminaci škrtků klapky, neboť software dokáže regulovat optimální průběh sacích ventilů napříč celou mapou jízdních režimů. Na rozdíl od klasických motorů, kde profil vačky určuje zdvih ventilů, UniAir využívá definované množství motorového oleje ve vysokotlaké komoře. Ten, pokud je elektromagneticky ovládaný přepouštěcí ventil (solenoid) uzavřen, působí jako nestlačitelný akční člen. Otevře-li se solenoid, olej zaplaví volný prostor mezi tlakovým zásobníkem a solenoidem, čímž se přeruší spojení vačky a ventilu. Pružina v tlakovém zásobníku slouží jako akumulací člen, neboť je díky ní zajištěn pokaždé stejný výchozí tlak pro nadcházející cyklus. Solenoid patří k nejdůležitější části systému, protože zajišťuje křivky zdvihu ventilu. Během vícenásobného zdvihu je navíc aktivován několikrát během otočení klikového hřídele, proto jsou kladeny velké nároky přesnosti výroby. K zamezení hluku a poškození ventilu vlivem vysokých uzavíracích rychlostí slouží hydraulicky ovládaná brzda. Pracovní rozsah systému je od teploty -35°C do 150°C běžného motorového oleje a otáčkami více než 7000 min^{-1} . Systém v závislosti na jízdním režimu upravuje průběh ventilů. Při plném zatížení je i maximální zdvih ventilů. Při částečném zatížení se sací ventil otevírá později, při potřebě vyššího točivého momentu naopak dříve. Při minimálním zatížení jsou tyto dva režimy střídány, čímž se zabráňuje pneumatickým ztrátám díky nadměrnému objemu vzduchu při expanzi. Vícenásobný zdvih je kombinací časného uzavírání a pozdního otevírání sacího ventilu, přičemž tento režim může být použit pouze do otáček 3000 min^{-1} . MultiAir je použitelný pro zážehové i vznětové motory, nepřepřlňované i přepřlňované, přičemž u přepřlňovaných výrazně roste jeho efektivita. Ve zkratce se jedná o dosud nejvíce variabilní systém ventilových rozvodů. [61], [60]



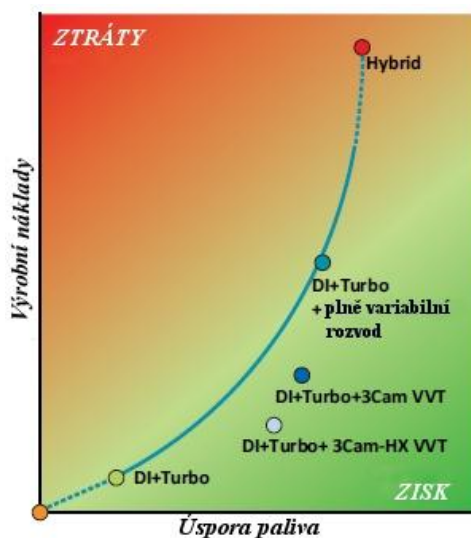
Obr.4.4.3 Schéma UniAir [62]



5 BUDOUCÍ VÝVOJ VARIABILNÍCH VENTILOVÝCH ROZVODŮ

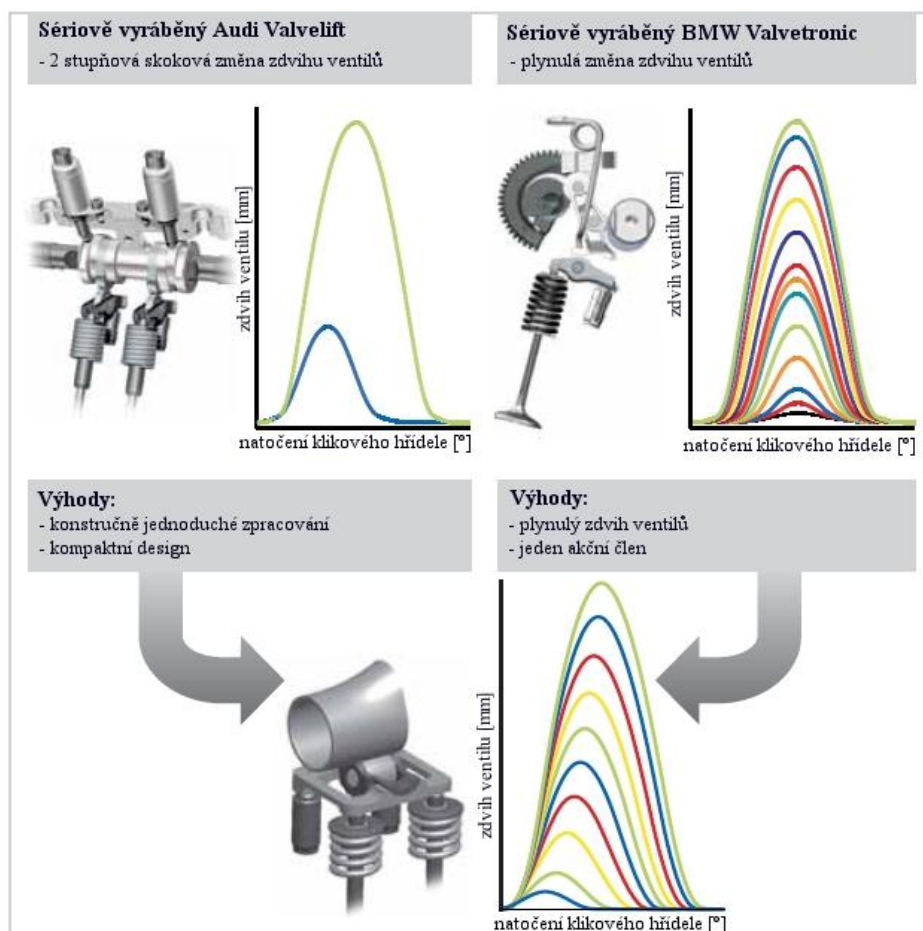
Ruku v ruce s vývojem procesů pro skladování elektrické energie, probíhá pozvolný přechod od motorů s vnitřním spalováním k pohonům hybridním, či čistě elektrickým pohonem vybaveným automobilům. Ceny pohonných hmot však dosud nejsou na takové úrovni, aby vyvážily nevýhody, zejména ekonomické, spojené s masivním nasazením elektromobilů. Vývoj vozidel také míří ke snižování jejich hmotnosti, což umožňují jednak stále kvalitnější a lehčí materiály, tak i zvyšování středního efektivního tlaku za snižování zdvihového objemu motoru (downsizing) a tím jeho hmotnosti. Celé to zapadá do konceptu malých, „městských“ vozidel, které zaujímají čím dál tím vyšší podíl na trhu s automobily. V honu za snížením spotřeby paliva a zejména redukce CO₂, začínají světu dominovat malé zážehové přeplňované motory s VVR a přímým vstřikem paliva. Protože na prvním místě je vždy ekonomický faktor, střetávají se protichůdné požadavky na novou generaci VVR. Plně variabilní spojitý zdvih, plynulé časování ventilů, spolehlivost, konstrukční jednoduchost, kompaktní provedení a nízká výrobní cena. Tyto požadavky jsou do značné míry splněny pro systém UniAir. Jeho vývojáři ze Schaeffler Group nastiňují další – mechanickou cestu. [63]

Graf na **Obr.6.1.1** ukazuje závislost výrobních nákladů na finální úspoře paliva ve vozidle. DI+Turbo je klasická varianta přímého vstřikování (Direct Injection) a přeplňovaného motoru. 3Cam VVT je představa skokové změny zdvihu ventilů za použití rozvodových pák (např. Audi Valvelift).



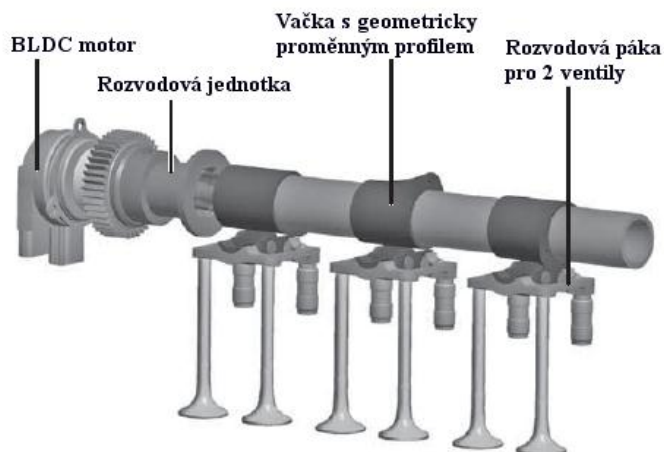
Obr.5.1.1 Ekonomický ukazatel VVR systémů [63]

3Cam-HX VVT je potom myšlenka spojit konstrukčně jednoduchý koncept skokové změny zdvihu ventilů – Audi Valvelift a plynulou změnu zdvihu ventilů systému BMW Valvetronic. Plynulý zdvih a časování je zajištěno jediným akčním členem – geometrickým profilem vačky. Ta je zalisovaná na vačkovém hřídeli s možností axiálního posuvu, který je zajištěn bezkartáčovým stejnosměrným elektromotorem (BLDC). Příslušné natočení vačky a zdvihu ventilu je realizováno pouhým axiálním posuvem vačkového hřídele. Problémem by se zde mohl jevit dotyk vačky a kladičky, která přes rozvodovou páku ovládá oba ventily (při 4 ventilech na válec). Softwarem vlastní výroby Schaeffler Group vypočítal geometrický profil vačky a kladičky tak, aby byl zajištěn liniový dotyk po celou dobu vyššího zdvihu. Při nižším zdvihu je zajištěn elipsový kontakt. Z hlediska životnosti se profil vačky a kladičky stále testují, neboť je to jediný limitující faktor. [63]



Obr.5.1.2 Výhody plynoucí ze spojení Audi Valvelift a BMW Valvetronic [63]

Rozvodové kolo musí krom přenosu točivého momentu přes rozvodový řemen též umožňovat axiální posuv vačkového hřídele. To je zajištěno uvnitř rozvodové jednotky spirálovitými drážkami na vačkovém hřídeli, ve kterých se pohybují kuličková ložiska v kleci, umožňující axiální posuv. Oproti systému Valvetronic je navíc zajištěna úspora prostoru o 40% na výšku a 60% na šířku. Při použití dosud zpracovaného profilu je možná změna zdvihu ventilů v rozsahu od 0,4 mm do 9 mm. Natočení vačkového hřídele vůči klikovému je realizovatelné až o 70°. Díky vynechání fázového měniče pro změnu časování ventilů je dosaženo výrazné finanční úspory. [63]



Obr.5.1.3 3CAM-HX VVT [63]



6 VARIABILNÍ VENTILOVÝ ROZVOD VTEC-E

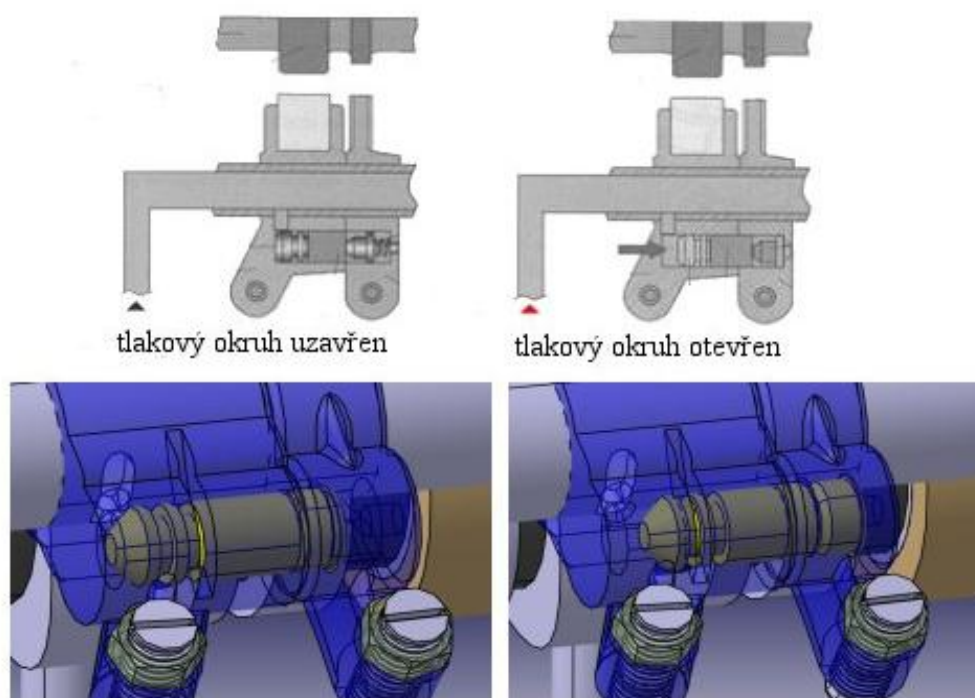
Konstrukční část této práce se zabývá vytvořením 3D modelu rozvodu Honda VTEC-E, konkrétně motoru D15Z6. Jeho vybrané parametry a popis funkce byl již popsán v kapitole 3.1.3. Výchozí motor byl vybrán jednak na základě relativně jednoduchého a spolehlivého mechanismu změny vačky, ale zejména však pro skutečnost, že byl autorovi práce k dispozici pro demontáž a následné změření dílů.



***Obr.6.1** Pohled na hlavu válců motoru D15Z6 [vlastní]*

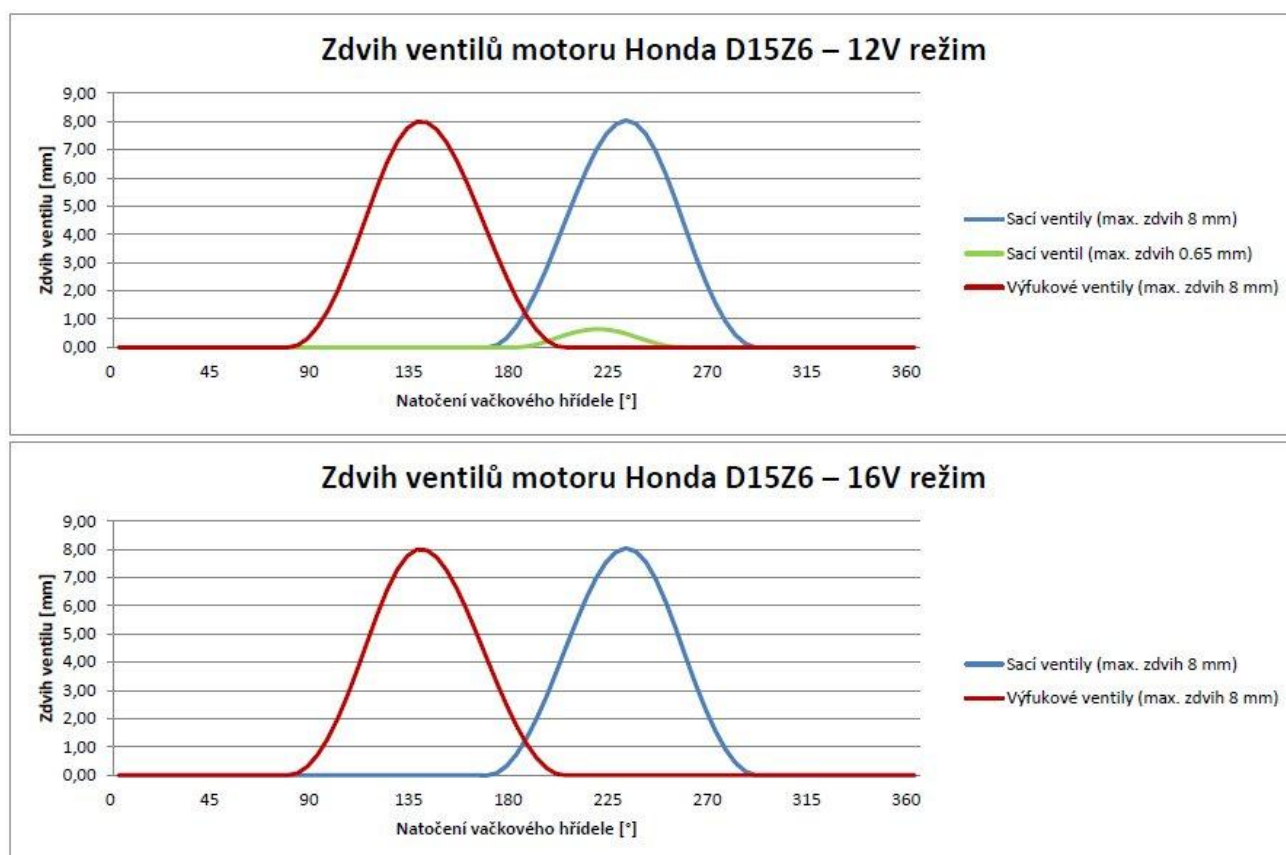
Jako výchozí software pro modelování autor zvolil DS CATIA V5. Rozhodl se tak proto, že dosud s tímto softwarem nepracoval a zároveň k němu měl dobrý přístup. Součástí výstupu práce je kromě vymodelované sestavy rozvodu a válcové jednotky i kinematický model. Ten umožnil nejen rozpohybovat vytvořený mechanismus, ale i znázornit zdvih ventilů v závislosti na natočení vačkového hřídele.

Veškeré díly ventilového rozvodu jsou vytvořeny pomocí solidů tak, aby co nejvěrněji kopírovali svůj originální díl. Důraz byl kladen obzvláště na funkční plochy. Vzhledem k tomu, že vahadla jsou poměrně komplikované odlitky, k jejich přesné vizualizaci by bylo nutno použít volné plochy v softwaru CATIA, případně je naskenovat pomocí 3D kamery CAD/CAM a vygenerovat jako síť ve formátu STL. Součásti, které tvořily přímo ventilový rozvod, jsou vymodelovány velmi zjednodušeně, pouze s dodržением základních funkčních rozměrů. Během tvorby modelu, kinematiky a následné vizualizace autor nenarazil na výrazné potíže, které by se nedaly vyřešit pomocí volně dostupných návodů. Pouze změnu režimu (deaktivace druhého sacího ventilu pomocí zasunutí posuvného čepu do druhého vahadla) se nepodařilo zobrazit v reálném čase, je proto tvořena změnou vazby. **Obr. 6.2** ukazuje změnu polohy posuvných čepů při aktivaci tlakového okruhu oleje. **Obr. 6.4** a **Obr. 6.5** znázorňují vymodelovaný ventilový rozvod včetně válcové jednotky.

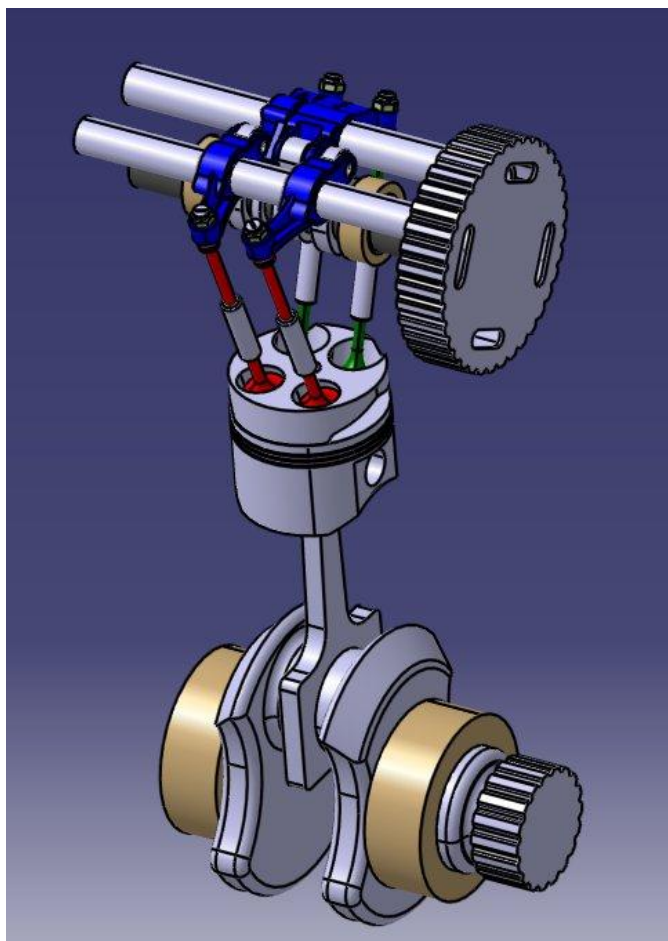


Obr.6.2 Pozice posuvných čepů při 12V a 16V režimu [71], [vlastní]

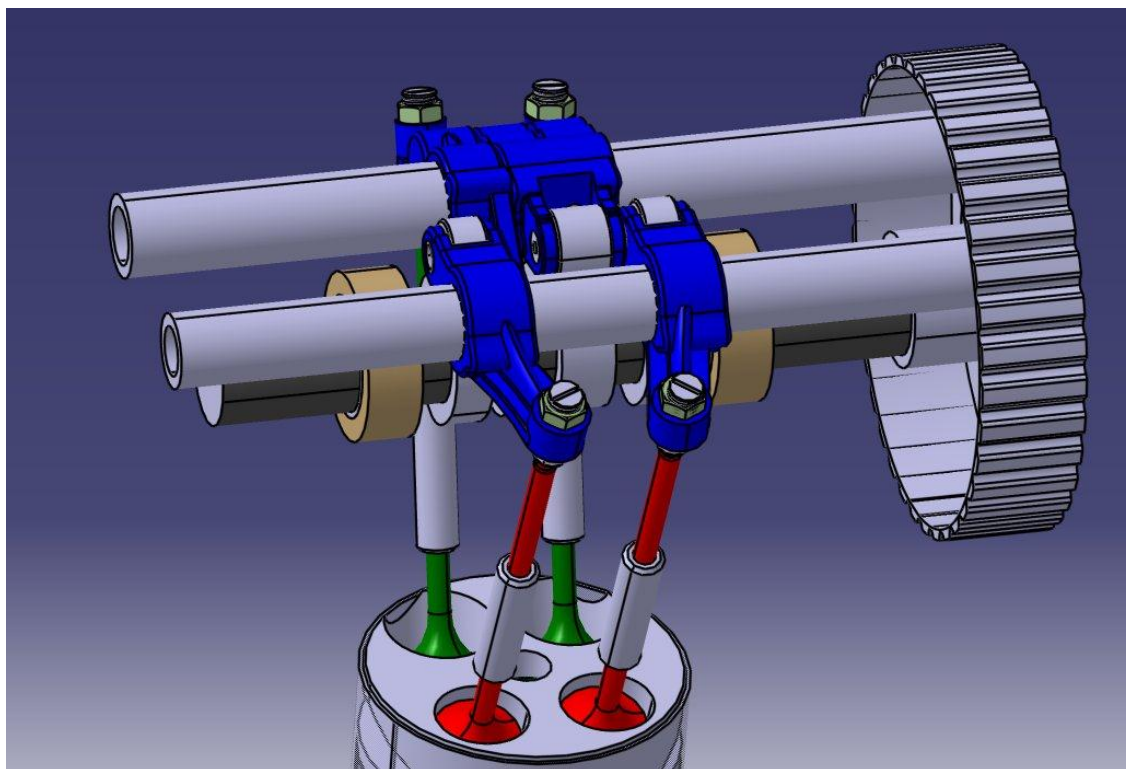
Po vytvoření časové podmínky, umístění senzorů posuvů na vodítkách ventilů a senzoru natočení vačkového hřídele je kinematický model schopen zaznamenávat tuto závislost jak přímo graficky, tak i v datovém souboru pro Excel. Autor využil druhou možnost a exportovaná data převedl do grafů níže.



Obr.6.3 Grafy závislosti zdvihu ventilů na natočení vačkového hřídele [vlastní]



Obr.6.4 Celkový model válcové jednotky a rozvodu VTEC-E [vlastní]



Obr.6.5 Detail modelu rozvodu VTEC-E motoru D15Z6, [vlastní]



ZÁVĚR

V posledních dvaceti letech automobilový průmysl zažil nevídaný rozmach systémů využívajících variabilní ventilový rozvod. Prvním impulsem byla snaha zlepšit průběh točivého momentu a zvýšit měrný výkon v širokém spektru otáček motoru. Nyní to jsou především legislativní nároky, kladoucí vysoké požadavky na limitní množství škodlivých emisí ve výfukových plynech. V době neustále rostoucích cen pohonných hmot, je pro uživatele směrodatná i spotřeba paliva. Těmto požadavkům jsou schopny nynější systémy do značné míry vyhovět, přičemž i nadále zlepšují dynamiku motoru, především díky snižování třecích ztrát mechanismu a pneumatických ztrát nasávané směsi paliva se vzduchem. Díky jejich vysokému potenciálu s ohledem na výrobní náklady se dá očekávat, že se s nimi budeme setkávat stále častěji.



POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] ZDENĚK, J., ŽDÁNSKÝ, B. *Automobily.3, Motory*. Avid, 5. vydání, Brno, 2008, s. 89-100. ISBN 978-80-87143-06-3.
- [2] HEISLER, H. *Advanced Engine Technology*. SAE International, First edition, 1995. ISBN 1-56091-734-2.
- [3] VLK, F. *Systémy řízení motoru a převodů*. Nakladatelství VLK, 1. vydání, Brno, 2006. s. 272-286. ISBN 80-239-7063-1.
- [4] VLK, F. *Vozidlové spalovací motory*. Nakladatelství VLK, 1. vydání, Brno, 2003. s. 400-420. ISBN 80-238-8756-4.
- [5] *Steam Locomotive Valve Gear* [online]. c2013 [cit. 2013-02-27]. Dostupné z: <<http://www.steamlocomotive.com/appliances/valvegear.php>>
- [6] *Vlaky - net* [online]. c2013 [cit. 2013-02-27]. Dostupné z: <<http://www.vlaky.net/upload/images/reports/003632/007.jpg>>
- [7] *Distribution Variable* [online]. c2013 [cit. 2013-02-27]. Dostupné z: <<http://philippe.boursin.perso.sfr.fr/pdgd2.htm>>
- [8] *Distribution Variable* [online]. c2013 [cit. 2013-02-27]. Dostupné z: <<http://philippe.boursin.perso.sfr.fr/gifpdg2/distv15.gif>>
- [9] *Alfisti* [online]. c2013 [cit. 2013-02-28]. Dostupné z: <<http://www.alfisti.cz/index.php?link=cuore-modely-zlaty-vek-spider3>>
- [10] *Lycoming XR-7755* [online]. c2013 [cit. 2013-02-28]. Dostupné z: <<http://airandspace.si.edu/collections/artifact.cfm?id=A19781379000>>
- [11] *The Basic VTEC Mechanism* [online]. c1996-2013 [cit. 2013-03-18]. Dostupné z: <<http://asia.vtec.net/Engines/vtecimpl/vtec1.html>>
- [12] *VTEC REV* [online]. c2013 [cit. 2013-02-28]. Dostupné z: <http://world.honda.com/motorcycle-technology/vtec/img/p3_04.jpg>
- [13] *Systémy VTEC* [online]. c2001-2008 [cit. 2013-03-02]. Dostupné z: <<http://www.hondaclub.cz/default.aspx?a=210>>
- [14] *Giovanni Torozza* [online]. c2013 [cit. 2013-02-28]. Dostupné z: <<http://media.caspianpublishing.co.uk/image/b559e64969a977413efb69005b61b924.jpg/crop:614x300:50:50>>
- [15] GIOVANNI TOROZZA, DANTE GIACOSA. *Valve-actuating mechanism for an internal combustion engine*. Assignee: FIAT S.p.A., Italy. Patent, 4 231 330. 1972-02-02



- [16] GIAMPAOLO GARCEA. *Timing variator for the timing system of a reciprocating internal combustion engine*. Assignee: ALFA ROMEO S.p.A., Italy. Patent, 3 641 988. 1979-05-13
- [17] *Porsche VarioCam* [online]. c2002-2012 [cit. 2013-02-28]. Dostupné z: <<http://www.356uk.com/porsche-variocam.htm>>
- [18] *Porsche VarioCam* [online]. c2002-2012 [cit. 2013-02-28]. Dostupné z: <<http://www.356uk.com/images/variocam.gif>>
- [19] *Autolexicon Porsche VarioCam Plus* [online]. c2013 [cit. 2013-02-28]. Dostupné z: <<http://cs.autolexicon.net/articles/variocam-variocam-%E2%80%93-plus/>>
- [20] *Autolexicon Porsche VarioCam Plus* [online]. c2013 [cit. 2013-02-28]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/obr_clanky/cs_variocam_plus_002.jpg/>
- [21] *BMW M50* [online]. c2013 [cit. 2013-03-07]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/BMW_M50/>
- [22] *VarioCam Plus* [online]. c2012 [cit. 2013-04-20]. Dostupné z: <<http://auto.porsche.cz/o-porsche/porsche-a-zivotni-prostredi/technologie/variocam-plus/>>
- [23] *BMW E46 M3* [online]. c2013 [cit. 2013-03-07]. Dostupné z: <<http://i70.photobucket.com/albums/i119/M3GT/UberMpower/2000-bmw-e46-m3-review-28w.jpg/>>
- [24] *BMW E36 M3* [online]. c2013 [cit. 2013-03-07]. Dostupné z: <<http://www.bmwpower.cz/magazin/m3-e36/M3-E36-17.jpg/>>
- [25] *Variable valve control* [online]. c2009 [cit. 2013-03-08]. Dostupné z: <<http://www.hazelnut.org/vvc/index.html> />
- [26] *Variable valve control* [online]. c2009 [cit. 2013-03-08]. Dostupné z: <<http://www.hazelnut.org/vvc/vvc.jpg> />
- [27] *Autozine Technical school* [online]. c1997-2011 [cit. 2013-03-08]. Dostupné z: <http://www.autozine.org/technical_school/engine/VVT_VVC_2.jpg />
- [28] *Rover Variable Valve Control* [online]. c2013 [cit. 2013-03-08]. Dostupné z: <<http://faitmaison.free.fr/images/VVC3.jpg>>
- [29] *Autozine Rover's unique VVC system* [online]. c1997-2011 [cit. 2013-03-09]. Dostupné z: <http://www.autozine.org/technical_school/engine/VVT_VVC_3.jpg />
- [30] *Powertrain performance graphs* [online]. c2013 [cit. 2013-05-21]. Dostupné z: <<http://rototest-research.eu/index.php?DN=29/>>
- [31] *Autozine Technical school* [online]. c1997-2011 [cit. 2013-03-09]. Dostupné z: <http://autozine.org/technical_school/engine/vvt_4.htm />



- [32] *Honda's VCM* [online]. c2013 [cit. 2013-03-11]. Dostupné z:
<<http://world.honda.com/automobile-technology/VCM/>>
- [33] *Systémy VTEC* [online]. c2001-2008 [cit. 2013-03-11]. Dostupné z:
<<http://www.hondaclub.cz/default.aspx?a=210>>
- [34] *Systémy VTEC* [online]. c2001-2008 [cit. 2013-03-11]. Dostupné z:
<<http://www.hondaclub.cz/img/clanky/fotos/technika/vtec/rozvod-dohc-vtec.jpg>>
- [35] *Systémy VTEC* [online]. c2001-2008 [cit. 2013-03-11]. Dostupné z:
<<http://www.hondaclub.cz/img/clanky/fotos/technika/vtec/vtec3.jpg>>
- [36] *Systémy VTEC* [online]. c2001-2008 [cit. 2013-03-11]. Dostupné z:
<<http://www.hondaclub.cz/img/clanky/fotos/technika/vtec/sohc-vtec-e.jpg>>
- [37] *Autozine Technical school* [online]. c1997-2011 [cit. 2013-03-11]. Dostupné z:
<http://www.autozine.org/technical_school/engine/tech_pic_eng_vtec_2.jpg>
- [38] *3-stage VTEC* [online]. c2013 [cit. 2013-03-11]. Dostupné z:
<<http://www.b18c5eg.com/VTEC/3stagepower.jpg>>
- [39] *A comparison of VVT and VTEC* [online]. c2013 [cit. 2013-03-12]. Dostupné z:
<<http://www.billzilla.org/vvtvtec.htm>>
- [40] *A comparison of VVT and VTEC* [online]. c2013 [cit. 2013-03-12]. Dostupné z:
<<http://www.billzilla.org/vvt1.gif>>
- [41] SHIKIDA, T., NAKAMURA, Y., NAKAKUBO, T., and KAWASE, H.: *Development of the High Speed 2ZZ-GE Engine*, SAE Technical Paper 2000-01-0671, 2000, doi:10.4271/2000-01-0671.
- [42] *Wikipedia Honda S2000* [online]. c2013 [cit. 2013-03-12]. Dostupné z:
<<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/dc/HondaS2000-004.jpg>>
- [43] *VVTi* [online]. c2013 [cit. 2013-03-12]. Dostupné z:
<<http://toyoty.nolimit.cz/image/16984615/>>
- [44] *What is VVT-i?* [online]. c2001-2013 [cit. 2013-03-12]. Dostupné z:
<<http://www.celica-hobby.com/ubbthreads/attach/158777-screen.jpg>>
- [45] *The new Audi valvelift system* [online]. c1997-2013 [cit. 2013-03-14]. Dostupné z:
<<http://car.kak.net/2008/06/29/the-new-audi-valvelift-system/>>
- [46] *Autozine Technical school* [online]. c1997-2011 [cit. 2013-03-11]. Dostupné z:
<http://www.autozine.org/technical_school/engine/vvt_31.htm>
- [47] *Autozine Technical school* [online]. c1997-2011 [cit. 2013-03-18]. Dostupné z:
<http://www.autozine.org/technical_school/engine/Camtronic.jpg>



- [48] *The development of the Mercedes-Benz A-Class: The drive system* [online]. c2013 [cit. 2013-03-18]. Dostupné z: <<http://media.daimler.com/dcmedia/0-921-1457194-1-1489837-1-0-0-0-0-11702-854934-0-1-0-0-0-0-0.html/>>
- [49] *VVT-iE system* [online]. c2013 [cit. 2013-03-18]. Dostupné z: <http://www.lexus.com.kw/ls_460/more/vvt_ie.asp />
- [50] RAUSCHER, J. *Spalovací motory*. VUT Brno, 1996 (elektronický text) s. 197
- [51] *BMW Valvetronic* [online]. c2013 [cit. 2013-03-28]. Dostupné z: <<http://dpgo.ru/uploads/files/BMW-Valvetronic1.jpg>>
- [52] *BMW Valvetronic* [online]. c2013 [cit. 2013-03-28]. Dostupné z: <http://sycomoreen.free.fr/imgs/IMAGES/autoconcept/BMW_valvetronic.jpg>
- [53] RAUSCHER, J. *Spalovací motory*. VUT Brno, 1996 (elektronický text) s. 200
- [54] KRÁTKÝ, M. *Vývoj mechanického variabilního ventilového rozvodu spalovacího motoru*. Výzkumné centrum spalovacích motorů a automobilů Josefa Božka, 2005 (elektronický text)
- [55] *Cucmeta Valvematic* [online]. c1999-2013 [cit. 2013-03-29]. Dostupné z: <<http://autodata.ru/upload/medialibrary/4c5/3-02.png> />
- [56] *Cucmeta Valvematic* [online]. c1999-2013 [cit. 2013-03-29]. Dostupné z: <<http://autodata.ru/upload/medialibrary/355/2-04.png>>
- [57] *Cucmeta Valvematic* [online]. c1999-2013 [cit. 2013-03-29]. Dostupné z: <<http://autodata.ru/upload/medialibrary/7d0/3-09.png> />
- [58] *Toyota Valvematic cutaway* [online]. c2013 [cit. 2013-03-29]. Dostupné z: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ea/TOYOTA_VALVE_MATIC_%28cutaway%29.jpg />
- [59] *Autozine Technical school* [online]. c1997-2011 [cit. 2013-03-28]. Dostupné z: <http://www.autozine.org/technical_school/engine/vvt_5.htm />
- [60] HAAS, M. *Just Air?*. Schaeffler Symposium, 2010 (elektronický text)
- [61] *INA UniAir System* [online]. c2013 [cit. 2013-03-29]. Dostupné z: <http://www.schaeffler.com/remotemedien/media/_shared_media/08_media_library/01_publications/automotiveaftermarket/brochure_1/downloads_5/uniair_en.pdf />
- [62] *Autolexicon Porsche VarioCam Plus* [online]. c2013 [cit. 2013-03-30]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/obr_clanky/cs_multiair_003-500x332.jpg />
- [63] SCHÄFER, J., ZWAHR, S., WENSING M. *The best of both worlds combined*. Schaeffler Symposium, 2010 (elektronický text)
- [64] *MCE-5 VCRi* [online]. c2013 [cit. 2013-04-17]. Dostupné z: <<http://www.mce-5.com/>>



- [65] *Autolexicon Mistubishi MIVEC* [online]. c2013 [cit. 2013-04-17]. Dostupné z: <<http://cs.autolexicon.net/articles/mivec-mitsubishi-innovative-valve-timing-electronic-control-system/>>
- [66] DRÁPAL, L. *Variabilní ventilové rozvody*. VUT Brno, 2007 (elektronický text)
- [67] *Octavia* [online]. c1999-2012 [cit. 2013-04-20]. Dostupné z: <<http://skoda.panda.cz/clanek.php3?id=103> />
- [68] *Sistemul de distribuție variabilă VarioCam Plus de la Porsche* [online]. c2012-2013 [cit. 2013-04-20]. Dostupné z: <<http://www.e-automobile.ro/categorie-motor/20-general/126-distributie-variabila-variocam-porsche.html/>>
- [69] *How VarioCam and VarioCam Plus works* [online]. c2000-2013 [cit. 2013-04-20]. Dostupné z: <<http://forums.rennlist.com/rennforums/996-forum/557016-how-variocam-and-variocamplus-works-a-primer.html/>>
- [70] BMW GROUP. *Product Information – VANOS*. BMW Group, 2005 (elektronický text)
- [71] *Cam and valve mechanism VTEC-E* [online]. c2013 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <<http://kana.nm.ru/D15/VTEC-E-03.jpg/>>



SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

3Cam-HX VVT	koncept mechanického plně variabilního ventilového rozvodu
3-stage VTEC	systém spojující koncepty VTEC a VTEC-E (Honda)
Camtronic	skoková dvoustupňová změna zdvihu ventilů (Mercedes-Benz)
CVVL	Continuously Variable Valve Lift – plynulý variabilní zdvih ventilů
Double VANOS	systém VANOS na vačce sacích i výfukových ventilů (DOHC rozvod)
Dual VVT-i	plynulá změna časování sacích i výfukových ventilů (Toyota)
MIVEC	Mitsubishi Innovative Valve timing Electronic Control system
MultiAir	komerční název pro systém UniAir (Fiat)
Ricardo Phaselift	experimentální koncept – plynulá změna časování a zdvihu ventilů
UniAir	plně variabilní elektro-hydraulický ventilový rozvod (Fiat)
Valvelift	skoková dvoustupňová změna zdvihu ventilů (Audi)
Valvematic	plynulá regulace zdvihu ventilů (Toyota)
Valvetronic	plynulá změna zdvihu ventilů, použití společně s VANOS (BMW)
VANOS	Variable Nockenwellen Steuerung – změna časování ventilů (BMW)
VarioCAM	změna časování ventilů pomocí fázového měniče (Porsche)
VarioCAM Plus	systém VarioCam, umožňující navíc skokovou změnu zdvihu ventilů
VCM	Variable Cylinder Management – deaktivace sacích ventilů (Honda)
VTEC	Variable valve Timing and lift Electronic Control (Honda)
VTEC-E	verze systému VTEC určená pro ekonomický provoz (Honda)
VVA	Variable Valve Actuation – plynulé řízení ventilů
VVC	Variable Valve Control (Rover)
VVR	Variabilní Ventilové Rozvody
VVT	Variable Valve Timing – variabilní časování ventilů (Toyota)
VVT-i	plynulá změna časování sacích ventilů (Toyota)
VVT-iE	koncept VVT s elektronicky ovládaným regulátorem (Toyota)
VVTL-i	systém VVT umožňující navíc skokový zdvih ventilů (Toyota)